



**UAEM**

Universidad Autónoma  
del Estado de México

**FACULTAD DE CIENCIAS  
AGRÍCOLAS**

**INGENIERO  
AGRÓNOMO  
FITOTECNISTA**

**UNIDAD DE APRENDIZAJE:  
ANATOMÍA DE PLANTAS  
CULTIVADAS**

**CREDITOS: 7**

**HORAS TEÓRICAS: 2.0**

**HORAS PRÁCTICAS: 3.0**

**HORAS TOTALES: 5.0**

**RESPONSABLE:  
DR. JOSÉ ANTONIO LÓPEZ  
SANDOVAL**



ÍNDICE

	Página
ÍNDICE.....	2
LISTA DE CUADROS.....	8
PRESENTACIÓN.....	9
INTRODUCCIÓN .....	12
I. CELULA.....	15
Resumen .....	15
Plastidios.....	18
Vacuolas.....	22
Compuestos almacenados.....	22
Granos de almidón.....	23
Taninos .....	23
Cristales.....	24
Membrana plasmática.....	28
Estructura de la membrana .....	28
Aparato de Golgi .....	31
Retículo endoplasmático .....	32
Pared celular .....	35
Comunicación entre células .....	41
Notas de interés .....	42
Actividad a desarrollar por el alumno (Célula).....	52
II. MERISTEMOS .....	53
Resumen .....	53
Características celulares.....	57
Clasificación de meristemos.....	58
Ápice radicular .....	60
Ápice caulinar .....	61
Meristemos secundarios .....	63
Fitohormonas en los meristemos.....	68
Nota de interés.....	72
Actividad a desarrollar por el alumno (Meristemos).....	77
III. EPIDERMIS.....	78
Resumen .....	78
Origen y duración .....	81
Características celulares.....	81
Estomas .....	86
Clasificación de estomas .....	89
Tricomas.....	93
Domáceas .....	96
Pelos radicales.....	96
Nota de interés.....	98
Actividad a desarrollar por el alumno (Epidermis).....	101
IV. PARENQUIMA .....	102

Resumen .....	102
Origen .....	104
Características celulares.....	104
Ubicación y función.....	107
Notas de interés .....	112
Actividad a desarrollar por el alumno (Parenquima).....	115
V. COLENQUIMA .....	116
Resumen .....	116
Origen .....	117
Características celulares.....	117
Tipos de colénquima.....	118
Ubicación y función.....	121
Actividad a desarrollar por el alumno (Colenquima).....	124
VI. ESCLERENQUIMA .....	125
Resumen .....	125
Origen .....	126
Características celulares.....	128
Esclereidas .....	128
Fibras .....	130
Ubicación y función.....	132
Esclereidas .....	132
Fibras .....	134
Actividad a desarrollar por el alumno (Esclerenquima).....	139
VII. XILEMA .....	140
Resumen .....	140
Tipos celulares.....	141
Elementos traqueales .....	144
Traqueidas .....	144
Elementos, miembros o segmentos del vaso.....	145
Actividad a desarrollar por el alumno (Xilema).....	148
VIII. FLOEMA.....	149
Resumen .....	149
Tipos celulares.....	150
Elementos cribosos.....	151
Células anexas y albuminíferas .....	154
Xilema y floema primarios .....	156
Xilema secundario .....	160
Diferencias entre el xilema secundario de Gimnospermas y de Angiospermas .....	162
Gimnospermas.....	162
Angiospermas .....	163
Floema secundario .....	165
Diferencias entre el floema secundario de Gimnospermas y de Angiospermas .....	166
Gimnospermas.....	166
Angiospermas .....	167
Notas de interes .....	168
Actividad a desarrollar por el alumno (Floema).....	173

IX. RAÍZ .....	174
Resumen .....	174
Origen .....	175
Caliptra o cofia .....	175
Epidermis .....	176
Pelos radicales.....	178
Funciones fisiológicas de los pelos radicales .....	179
Córtex.....	181
Endodermis.....	181
Cilindro vascular .....	182
Crecimiento secundario anómalo .....	185
Nota de interés.....	186
X.TALLO .....	190
Resumen .....	190
Crecimiento primario .....	192
Estructura primaria .....	193
Figura 51. Tallo de <i>Juncus</i> .....	195
Disposición de los tejidos .....	195
Crecimiento secundario.....	197
Crecimiento secundario en gimnospermas .....	200
Xilema .....	200
Córtex.....	201
Floema .....	202
Figura 53.Tallo de <i>Taxodium</i> .....	203
Crecimiento secundario en dicotiledóneas .....	204
Xilema secundario .....	204
Disposición de los vasos o tráqueas.....	204
Parénquima axial .....	205
Parénquima apotraqueal.....	205
Parénquima paratraqueal.....	206
Radios leñosos .....	206
Madera de reacción .....	207
Floema secundario .....	207
Peridermis.....	208
Crecimiento secundario anómalo .....	209
Crecimiento secundario en monocotiledóneas .....	211
Nota de interés.....	212
XI. HOJA .....	217
Resumen .....	217
Epidermis .....	218
Mesófilo .....	221
Tejido vascular .....	223
Vaina del haz .....	224
Tejidos de sostén.....	225
Estructuras secretoras .....	225
Adaptaciones al medio .....	226

Hojas de sol y sombra.....	226
Hojas xeromórficas.....	227
Hojas de plantas acuáticas (Hidrófilos).....	232
Pecíolo.....	234
Nota de interés.....	235
XII. FLOR.....	238
Resumen.....	238
Sépalos y pétalos.....	239
Androceo (Estambres).....	240
Filamento.....	241
Antera.....	241
Polen maduro.....	242
Gineceo (Carpelos).....	245
Estilo y estigma.....	247
Ovario.....	248
Rudimento seminal.....	249
Usos del polen.....	250
Polinización asistida.....	252
Nota de interés.....	252
XIII.FRUTO.....	256
Resumen.....	256
Legumbre.....	258
Cápsula.....	259
<i>Vanilla planifolia</i> “Vainilla”.....	259
Baya.....	259
<i>Capsicum annuum</i> “Chile”.....	260
<i>Psidium guajava</i> “Guayaba”.....	261
<i>Coffea arabica</i> “Café”.....	261
<i>Citrus aurantiifolia</i> “Limón”.....	262
Drupa.....	262
<i>Prunus persica</i> “Durazno”.....	263
Pomo.....	263
<i>Pyrus communis</i> “Pera” y <i>Cydonia oblonga</i> “Membrillo”.....	264
Sicono.....	264
<i>Ficus carica</i> “Higo”.....	265
Nota de interés.....	265
XIV.SEMILLA.....	270
Resumen.....	270
Histología de la testa.....	271
El endospermo.....	273
Plántulas.....	276
IX LITERATURA CITADA.....	280
X. GLOSARIO.....	282

## LISTA DE FIGURAS

## Pagina

Figura 1 Apariencia granular del citoplasma debido a la presencia de ribosomas (Esau, 1977) .....	17
Figura 2. Estructura del cloroplasto(Esau, 1977).....	20
Figura 3. División de un cloroplasto(Esau, 1977).....	21
Figura 4. Partes de la célula en <i>Nicotiana tabacum</i> : er, retículo endoplasmático; m, mitocondria; n, núcleo; ne, envoltura nuclear; nu, nucleolo; o, cuerpos de aceite; p, plastidio; v, vacuola; w, pared celular (Esau, 1977) .....	26
Figura 5. Tipos de cromoplastos. A, cromoplasto globular en <i>Tagetes</i> petalo; B, cloroplasto membranoso de <i>Narcissus pseudonarcissus</i> flower; C, cromoplasto tubular de <i>Palisota barteri</i> fruit; D, cromoplasto cristalino de <i>Solanum Lycopersicum</i> en fruto. Detalles: cr, cristaloides; ob, cuerpo de aceite. (Esau, 1977).....	27
Figura 6. Modelo de Fluido-mosaico de la membrana celular (Esau, 1977). .....	30
Figura 7. Pared Celular, Membrana celular y microtubulos(Esau, 1977).....	31
Figura 8. Aparato de Golgi y Retículo endoplasmático (Esau, 1977).....	34
Figura 9. Poros, ribosomas, envoltura nuclear, microtubulos y espacio perinuclear (Esau, 1977).....	35
Figura 10. Pared celular, membrana celular y mitocondrias(Esau, 1977). .....	40
Figura 11. Plasmodesmos (Esau, 1977) .....	41
Figura 12. <i>Monstera deliciosa</i> . Monocotyledoneae. Sección longitudinal del ápice radical 400x. Proplastidios (pp) apenas perceptibles en células de la zona de diferenciación .....	48
Figura 13. <i>Daucus carota</i> . Dicotyledoneae. Sección transversal de raíz 400x. Cromoplastos cristalizados (cr) Fuente: (Azacarraga y et al, 2010).....	49
Figura 14. <i>Solanum tuberosum</i> . Dicotyledoneae. Raspado del tejido de almacenamiento del tubérculo 400x. Grano de almidón (ga), hilo (hi) Fuente: (Azacarraga y et al, 2010) .....	50
Figura 15. <i>Zantedeschia aethiopica</i> . Monocotyledoneae Sección transversal de la hoja 400x. La ubicación de las vacuolas (v) se manifiesta por una zona incolora en la parte central del protoplasto, cloroplastos (cl) Fuente: (Azacarraga y et al, 2010) .....	51
Figura 16. Apice radicular y apice caulinar .....	56
Figura 17. Cambium fascicular y Cambium interfascicular (Esau, 1977). .....	67
Figura 18. Cambios graduales en la concentración de las auxinas (Esau, 1977).....	71
Figura 19. <i>Allium cepa</i> . Monocotyledoneae. Sección longitudinal 200x. Caliptra (ca), meristemo apical: meristemo fundamental (mf), promeristemo (pm), protodermis (pd)..	75
Figura 20. <i>Amaranthus hybridus</i> . Dicotyledoneae. Sección longitudinal 400x. Meristemo apical: corpus (co), primordios foliares (pf), túnica (tu). Fuente: (Azacarraga y et al, 2010) .....	76
Figura 21. Hoja de maíz con vaina alrededor de los haces vasculares. bs (vaina de parenquima) (Esau, 1977).....	79
Figura 22. Velamen en la raíz de una orquídea (Esau, 1977).....	80
Figura 23. Estoma y sus partes (Esau, 1977). .....	86
Figura 24. Tipos de estomas (Esau, 1977).....	91
Figura 25. Arreglos de estomas en hojas de maíz y de papa (Esau, 1977). .....	92
Figura 26. Tipos de tricomas (Esau, 1977).....	95

Figura 27. <i>Pyrus communis</i> . Dicotyledoneae. Sección transversal de semilla 400x. Testa seminal constituida de esclereidas (es), parénquima de reserva (pa). Fuente: (Azacarraga y et al, 2010) .....	100
Figura 28. Espacios intercelulares y paredes en células del parénquima (Esau, 1977).....	103
Figura 29. Formas de las células de los tipos de Parenquima (Esau, 1977).....	106
Figura 30. Arenquima en raíz de <i>Oryza sativa</i> (Esau, 1977).....	109
Figura 31. Monocotyledoneae. Sección transversal de raíz 50x. Parénquima cortical (po), parénquima medular (pm). Fuente: (Azacarraga y et al, 2010) .....	114
Figura 32. Tipos de colénquima (Esau, 1977).....	119
Figura 33. Colenquima en diferentes formas de tallo (Esau, 1977).....	120
Figura 34. <i>Nerium oleander</i> . Dicotyledoneae. Sección transversal de hoja 400x. Epidermis (ep), colénquima (co): pared celular primaria con engrosamientos desiguales (pc), células con alto contenido citoplasmático (cv); haz vascular (hv), parénquima enemplalizada (pe). Fuente: (Azacarraga y et al, 2010) .....	123
Figura 35. Fibras en floema primario (Esau, 1977).....	127
Figura 36. Fibra (Esau, 1977).....	131
Figura 37. Diferentes tipos de esclereidas (Esau, 1977).....	134
Figura 38. <i>Dahlia</i> sp. Dicotyledoneae. Sección transversal de tallo 200x. Haz vascular: xilema primario (xp), fibras xilares (fx), floema primario (fp). Fuente: (Azacarraga y et al, 2010) .....	138
Figura 39. Tipos de traqueidas (Esau, 1977).....	143
Figura 40. Tipos de placas perforadas (Esau, 1977) .....	145
Figura 41. <i>Bouteloua</i> sp. Monocotyledoneae. Sección longitudinal de tallo 400x. Elementos traqueales con engrosamiento anular (ea) y reticular (er) de la pared secundaria, parénquima (p). Fuente: (Azacarraga y et al, 2010).....	147
Figura 42. Partes de los tubos cribosos (Esau, 1977).....	154
Figura 43. Células anexas cribosas (Esau, 1977).....	156
Figura 44. <i>Brassica oleraceae</i> . Dicotyledoneae. Sección transversal de tallo 400x. Parénquima (p), floema (f), procambium (pc), xilema (x). Fuente: (Azacarraga y et al, 2010) .....	172
Figura 45. Raíz de <i>Pinus</i> .....	177
Figura 46. Raíz de <i>Monstera</i> .....	182
Figura 47. Raíz de <i>Asparagus</i> .....	185
Figura 48. Raíz de una orquidea .....	188
Figura 49. <i>Allium</i> sp. Monocotyledoneae. Sección transversal 400x. Parénquima cortical (pc), endodermis (en), periciclo (pe), protoxilema (px), floema (f), metaxilema (mx). Fuente: (Azacarraga y et al, 2010) .....	189
Figura 50. Tallo de una Poaceae .....	192
Figura 51. Tallo de <i>Juncus</i> .....	195
Figura 52. Tallo de <i>Pelargonium</i> .....	200
Figura 53. Tallo de <i>Taxodium</i> .....	203
Figura 54. <i>Helianthus annuus</i> . Dicotyledoneae. Sección transversal de tallo 25x. Corteza (c), xilema (x), floema (f), parénquima interfascicular (pi), médula (m). Fuente: (Azacarraga y et al, 2010).....	216
Figura 55. Hoja de maíz.....	218
Figura 56. Hoja de <i>Commelina</i> .....	220

Figura 57. Hoja de <i>Ligustrum</i> .....	223
Figura 58. <i>Pinus</i> sp. Gymnospermae. Sección transversal de hoja 100x. Epidermis (ep), hipodermis (hi), estoma (et), parénquima plegado (pp), nervadura (hv), canal resinífero (ce). Fuente: (Azacarraga y et al, 2010) .....	237
Figura 59. Antera y sacos polínicos de <i>Ligustrum</i> .....	245
Figura 60. Ovario de <i>Lilium</i> .....	247
Figura 61. <i>Ficus carica</i> . Dicotyledoneae. Sección longitudinal de flores femeninas 50x. Segmentos del perianto (sp), gineceo (g). Fuente: (Azacarraga y et al, 2010).....	255
Figura 62. Pericarpo; formado por exocarpo (ex), mesocarpo (me), endocarpo (en). Haces vasculares: ventral (hvv) y dorsal (hvd);semilla (se). Fuente: (Azacarraga y et al, 2010)...	269
Figura 63. Semilla de <i>Solanum</i> .....	275
Figura 64. <i>Phaseolus vulgaris</i> . Dicotyledoneae. Parte ventral de la semilla germinada 8x. Estrofiolo (es), hilio (hi), rafé (r), testa (t), radícula (ra), cotiledón (co). Fuente: (Azacarraga y et al, 2010) .....	279

## LISTA DE CUADROS

	<b>Pagina</b>
Cuadro 1. Resumen de las Partes de la Célula .....	45
Cuadro 2. Diferencias entre colénquima y esclerenquima.....	215



## **PRESENTACIÓN**

En la unidad de aprendizaje de Anatomía de plantas cultivadas está programado en catorce unidades en donde, de manera general, se aborda el tema de célula vegetal. Posteriormente se ven las características de cada uno de los tipos de tejidos que forman de la planta. Así mismo se abordan los órganos vegetales como raíz, tallo, hoja, flor, fruto y semilla. En cada sección se incluyen actividades para el alumno que básicamente consisten en la observación de laminillas para distinguir las partes internas que forman parte de los tejidos y de los órganos.

Las unidades del programa son las siguientes;

I. Célula vegetal

II. Meristemas

III. Epidermis. Peridermis

IV. Parénquima

V. Colénquima

VI. Esclerénquima

VII. Xilema

VIII. Floema

IX. Raíz

X. Tallo

XI. Hoja: estructura básica y desarrollo

XII. Flor: estructura y desarrollo

XIII. Fruto concepto y clasificación

XIV. Semilla: estructura interna y desarrollo

Como se menciona anteriormente se incluye unidades relacionada con célula y los diferentes tejidos que forman parte de la planta. En dicha unidades se tiene como objetivos los siguientes:

I. Célula

El discente conocerá las función, estructura y composición química de una célula

II. Meristemos

El discente conocerá los tipos de células, estructura, forma de reconocimiento de un meristemo

III. Epidermis. Peridermis

El discente conocerá los tipos de células, estructura, forma de reconocimiento de la epidermis

IV. Parénquima

El discente conocerá los tipos de células, estructura, forma de reconocimiento del parénquima

V. Colénquima

El discente conocerá los tipos de células, estructura, forma de reconocimiento del colénquima

VI. Esclerénquima

El discente conocerá los tipos de células, estructura, forma de reconocimiento del esclerénquima

#### VII. Xilema

El discente conocerá los tipos de células, estructura, forma de reconocimiento del xilema

#### VIII. Floema

El discente conocerá los tipos de células, estructura, forma de reconocimiento del floema

#### IX. Raíz

El discente identificará y reconocer la estructura interna, funciones, clasificación, modificaciones, importancia e interacción interespecíficas de la raíz.

#### X. Tallo.

Identificar y reconocer la estructura interna, funciones, modificaciones y clasificación del tallo.

#### XI. Hoja.

El discente Identificará y reconocerá la estructura interna, funciones, modificaciones y transformación de la hoja.

#### XII. Flor

El discente Identificará y reconocerá la estructura interna, funciones, modificaciones y transformación de la flor

#### XIII Fruto

El discente Identificará y reconocerá la estructura interna, funciones, modificaciones y transformación de la fruto

#### XIV. Semilla

El discente Identificará y reconocerá la estructura interna, funciones, modificaciones y transformación de la semilla

## **INTRODUCCIÓN**

La unidad de célula está estructurada principalmente para conocer la función, composición química y estructura de cada una de las partes de la célula. Con la estructura de estos apuntes el alumno tendrá que reconocer la función, composición química y estructura de la célula y que les servirán para ser aplicados en unidades de aprendizaje posteriores.

En relación con las unidades de aprendizajes posteriores como son meristemas, epidermis, parénquima, colénquima, esclerénquima, xilema y floema el alumno tendrá que reconocer este tipo de tejidos en los diferentes órganos de la planta.

## **Contenido de la Unidad Célula**

En esta unidad está estructurada de la siguiente manera de cada parte de la célula se presenta de las organelos y membranas más importantes:

- Resumen de la unidad
- Composición química
- Estructura
- Función
- Notas de interés
- Actividades para el alumno

Como se menciona anteriormente la estructura de esta unidad está diseñada para cumplir con el objetivo de la unidad que es que el discente reconozca la función, composición química y estructura de la célula

Contenido de las Unidades de meristemas, parénquima, colénquima, esclerénquima, xilema y floema

En esta unidad está estructurada de la siguiente manera:

- Resumen de la unidad
- Tipos celulares que forman a los tejidos
- Origen
- Estructura
- Formas de reconocimiento de los órganos vegetales

- Notas de interés
- Actividades para el alumno

Como se menciona anteriormente la estructura de esta unidad está diseñada para cumplir con el objetivo de la unidad que es que el discente reconozca tipos de células, estructura y formas de reconocimiento en el órgano vegetal

# I. CELULA

## Contenido de la Unidad Célula

En esta unidad está estructurada de la siguiente manera de cada parte de la célula se presenta de las organelos y membranas más importantes:

- Resumen de la unidad
- Composición química
- Estructura
- Función
- Notas de interés
- Actividades para el alumno

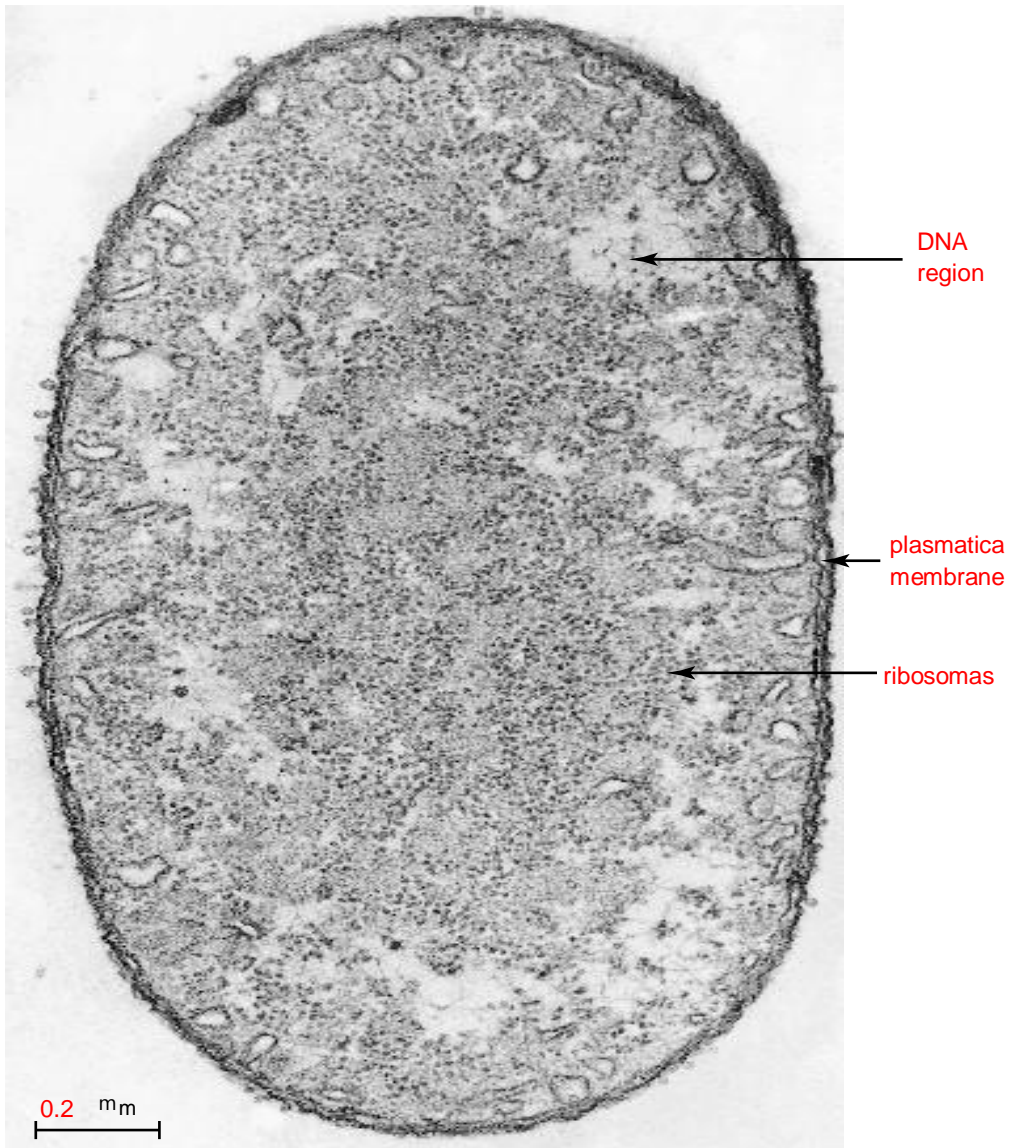
Esta Unidad de Célula esta relacionda con la Unidad I del programa de Anatomia de plantas Cultivadas

## Resumen

La célula representa la unidad estructural y funcional de todo ser vivo. Los organismos vivos pueden estar formados de una sola célula o de complejos celulares. Las células varían considerablemente en tamaño, forma, estructura y función. La mayoría de las células se miden en micras pero algunas, como las fibras, se pueden medir en centímetros; ciertas células realizan varias funciones y otras se especializan en una sola actividad. Sin embargo,

a pesar de esta extraordinaria diversidad, las células son notablemente similares en dos características: su organización física y sus propiedades bioquímicas. Asimismo, la célula vegetal es capaz de realizar una serie de actividades o funciones asociadas con la supervivencia y la calidad de vida de la planta; la existencia de compartimentos especializados dentro de ella hace posible el desarrollo de innumerables funciones fisiológicas. La célula vegetal se distingue de la célula animal porque posee plastidios, vacuolas, pared celular, citosol (citoplasma) (**Figura 1**) así como algunos metabolitos llamados colectivamente sustancias ergásticas. Estas últimas se definen como las partes morfológicas de la célula producidas por el protoplasto que pueden crearse por nueva formación como las inclusiones del protoplasto, los cristales de oxalato de calcio, granos de almidón, cristaloides de proteína, etc. En este capítulo se enfatiza específicamente sobre estas características típicas de la célula vegetal y algunas de sus variaciones específicas observadas con el microscopio compuesto.





---

**Figura I Apariencia granular del citoplasma debido a la presencia de ribosomas (Esau, 1977)**

## Plastidios

Los plastidios de las plantas vasculares tienen un espectro amplio de estructura y función. Entre ellos están los cloroplastos, bioenergéticamente autónomos con la capacidad de producir ATP, fijar carbono y sintetizar almidón en presencia de luz. Hay plastidios no fotosintéticos que dependen del suministro de precursores de carbono y energía. Los plastidios son interconvertibles; pueden cambiar de uno a otro tipo, o formarse a partir de otros diferentes. En las plantas sólo las células que poseen cloroplastos se comportan como células autótrofas, o sea, capaces de elaborar su propio alimento a partir de elementos simples inorgánicos; mientras que el resto de las células de los demás tejidos son células heterótrofas, es decir, sin capacidad para elaborar su alimento por lo que requieren asimilar los compuestos elaborados por las células autótrofas (4, 8, 9, 14 y 21).

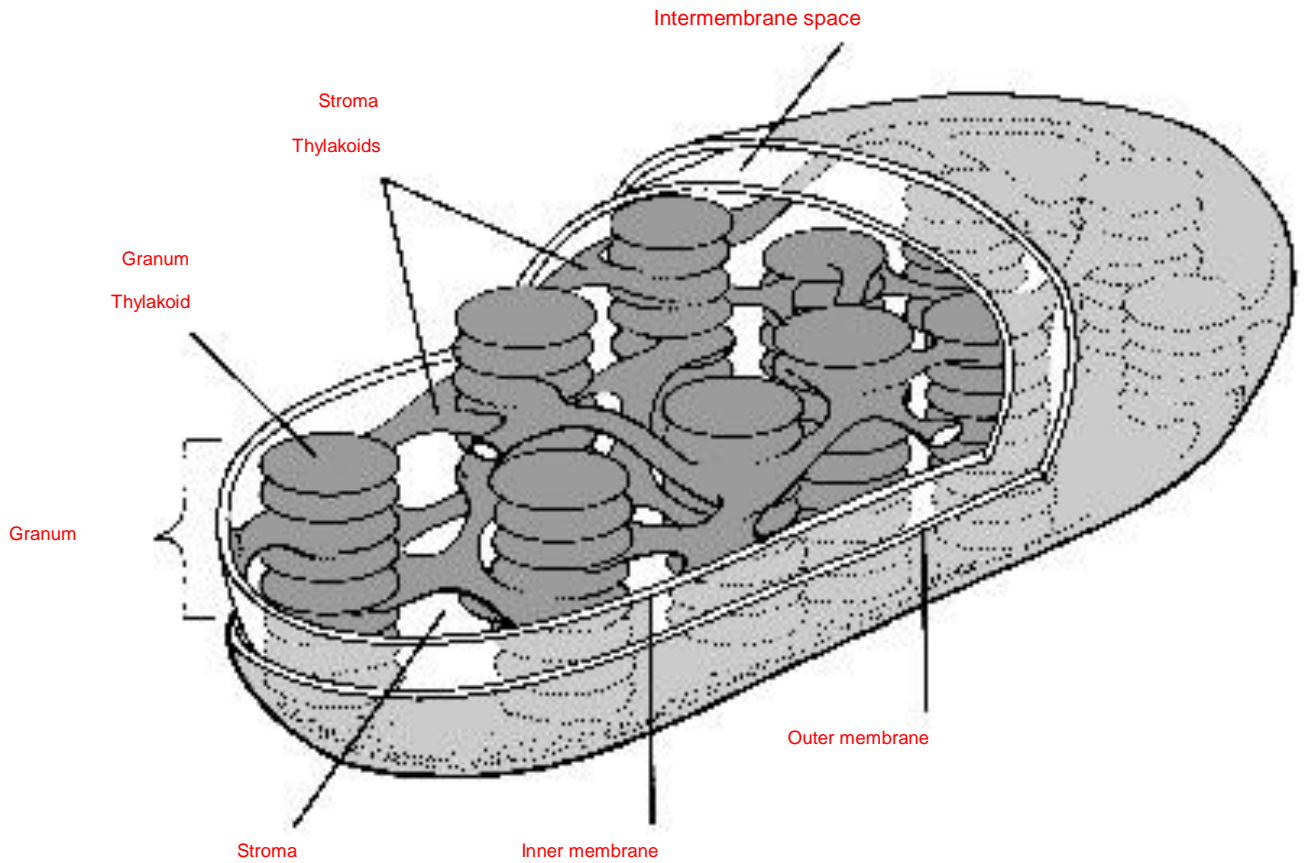
Los cloroplastos tienen formas discoidales, redondas o elipsoidales, son más abundantes en el mesófilo, pero se encuentran también en otras partes de la planta. Las células vegetales de los tejidos fotosintéticos dependen de sus propios nutrientes orgánicos producidos por fotosíntesis, proceso que se lleva a cabo en los cloroplastos que actúan como fuente interna permanente de alimento. Los cloroplastos y los otros plastidios, organelos estrechamente relacionados, se caracterizan por tener un pequeño genoma propio y están rodeados por una doble membrana (4, 8, 9, 14 y 21).

Todos los plastidios, incluidos los cloroplastos, se desarrollan a partir de los proplastidios que son organelos relativamente pequeños presentes en las células meristemáticas. Los

proplastidios se desarrollan de acuerdo con las necesidades de cada célula diferenciada, si la hoja crece en la oscuridad, los proplastidios dan lugar a etioplastos, éstos presentan una ordenación semicristalina de membranas internas que en lugar de clorofila contienen protoclorofila (un precursor amarillo de la clorofila). Al ser expuestos a la luz, los etioplastos dan lugar a los cloroplastos (**Figura 2 y 3**), convirtiendo la protoclorofila en clorofila y sintetizando nuevas membranas, pigmentos, enzimas fotosintéticas y componentes de la cadena de transporte de electrones (4, 8, 9, 14 y 21).

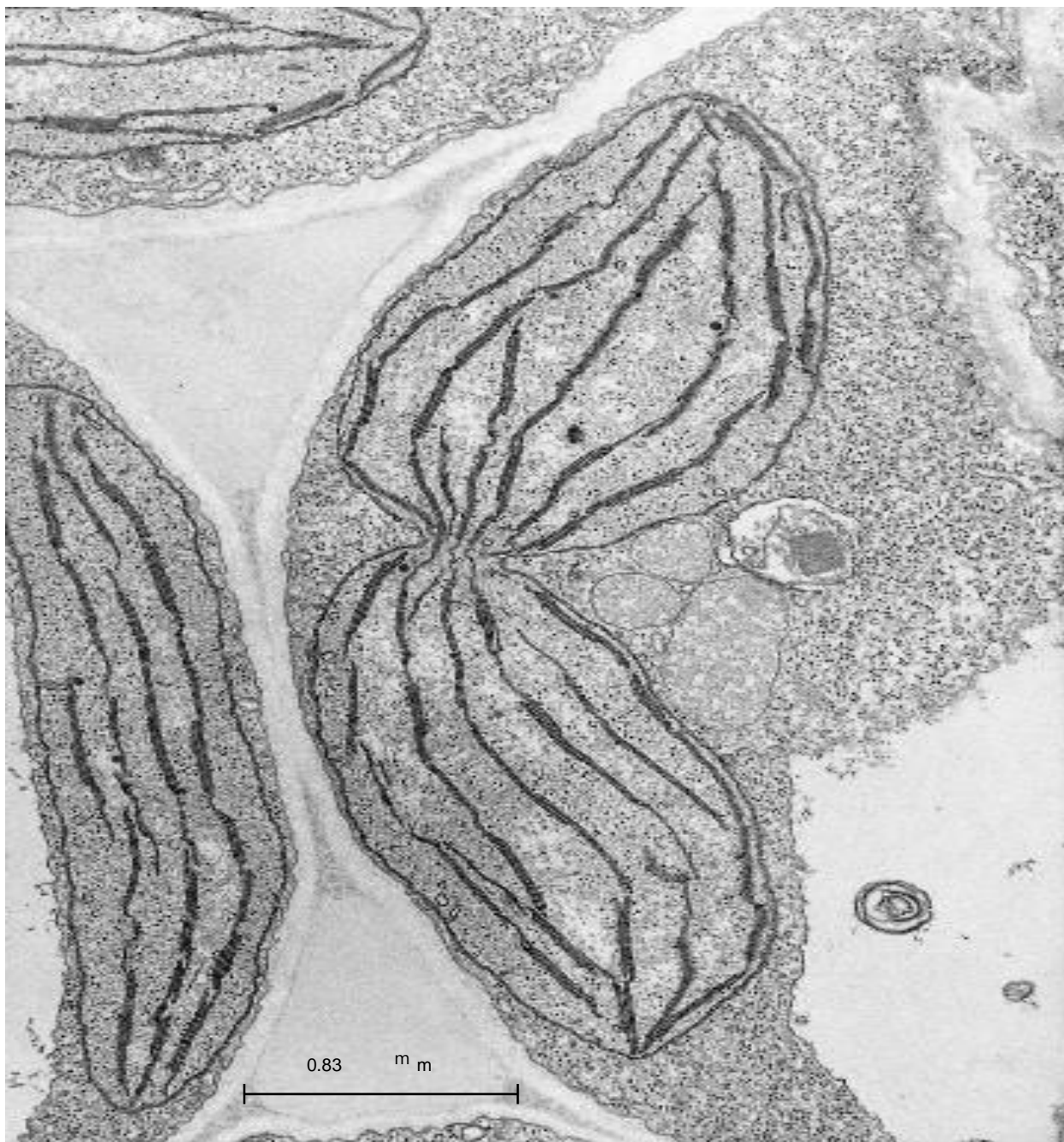
En todas las células vegetales existen plastidios de una y otra forma. Otras formas de plastidios son los cromoplastos (**Figura 5**) que acumulan pigmentos carotenoides, y son responsables de la coloración anaranjada-roja de los pétalos, frutos y algunas raíces de muchas especies, se clasifican en cuatro tipos: a) cromoplastos globulares, portadores de numerosos glóbulos carotenoides; b) cromoplastos membranosos, caracterizados por formar hasta 20 membranas periféricas; c) cromoplastos cristalinos, que contienen inclusiones cristalinas de caroteno puro en forma de aguja, que crecen hasta deformar el plasto; y d) cromoplastos tubulares, donde los carotenos se incorporan en filamentos tubulares de lipoproteína. Los leucoplastos, poseen un estroma granular y carecen de un elaborado sistema de membranas internas; son poco más que proplastidios agrandados y se presentan en numerosos tejidos epidérmicos. Una forma frecuente de leucoplasto es el amiloplasto denominado así cuando está especializado como cuerpo de almacenamiento de almidón en los tejidos de reserva y que, en ciertas células de tallos, hojas y raíces, actúan en respuesta de una planta a la gravedad. También pueden llamarse oleoplastos o elaioplastos a los leucoplastos relacionados con la formación de materias lipoides, son

comunes en las monocotiledóneas. Las grasas derivan no solamente de los oleoplastos sino también directamente del citoplasma. Los leucoplastos que contienen proteína cristalina se le denomina proteinoplastos (4, 8, 9,14 y 21).



---

**Figura 2. Estructura del cloroplasto(Esau, 1977).**



---

**Figura 3. División de un cloroplasto(Esau, 1977)**

## Vacuolas

Las vacuolas (**Figura 4**) están limitadas por su propia membrana llamada tonoplasto, que las separa del contenido citoplasmático; están llenas de un líquido, el jugo celular, cuya composición puede variar aún en vacuolas de una misma célula y es menos viscoso que el del citoplasma. En cortes de tejido fresco son incoloras no pigmentadas. En preparaciones fijas aparecen como áreas claras rodeadas por el citoplasma teñido. El principal componente del jugo celular es el agua y en ella se encuentran sustancias disueltas o en estado coloidal como sales, azúcares, ácidos orgánicos y otros compuestos solubles, así como taninos, y pigmentos como las antocianinas. Las materias presentes en la vacuola tradicionalmente clasificadas como ergásticas, son sustancias de reserva para actividades vitales o son subproductos del metabolismo. Las vacuolas con contenido alcalino se tiñen de rojo anaranjado con el coloranterojo neutro, las marcadamente ácidas se tiñen de un color magenta azulado con el mismo colorante. Cuando una sustancia se acumula en la vacuola por arriba del límite de saturación puede cristalizar. De acuerdo al desarrollo de la célula las vacuolas pueden variar en tamaño y forma. En las células meristemáticas son pequeñas y numerosas; en células adultas hay una sola vacuola en la parte central del protoplasto (4, 8, 9, 14 y 21).

## Compuestos almacenados

Todos los compuestos almacenados por las plantas son productos del metabolismo; algunos son, como se ha mencionado, colectivamente llamados sustancias ergásticas. Estos

compuestos pueden aparecer, desaparecer, y reaparecer en diferentes tiempos de la vida de la célula. La mayoría son productos almacenados, algunos están involucrados en la defensoría de las plantas y pocos se han caracterizado como productos de desecho. La mayoría de los casos son visibles en el microscopio e incluyen granos de almidón, cuerpos de proteína, aceites, aleurona, inulina, taninos, mucílagos, látex, resina, cristales y alcaloides entre otros. Sin embargo, muchos metabolitos secundarios reconocidos hace algunas décadas como sustancias ergásticas, son hoy concebidos como elementos importantes en la sobrevivencia de las células (4, 8, 9,14 y 21).

## **Granos de almidón**

Durante la fotosíntesis el almidón de asimilación se forma en los cloroplastos. Más tarde se hidroliza en azúcares, es transportado a las células de almacenaje y es resintetizado como almidón de almacenamiento en los amiloplastos. Un amiloplasto puede contener un grano de almidón y se denomina grano simple o contener más granos y se le dice grano compuesto. Si varios granos de almidón se desarrollan juntos, están cubiertos por envolturas comunes formando granos complejos de almidón (4, 8, 9,14 y 21).

## **Taninos**

Son un grupo heterogéneo de sustancias derivadas del fenol usualmente relacionado con los glucósidos, son de color amarillo, rojo o pardo, que se observan muy claramente en las preparaciones. Se presentan como masas más o menos finas o como corpúsculos de diversos tamaños, siendo particularmente abundantes en hojas, floema, xilema, peridermis,

frutos inmaduros, cubiertas de semillas y en las excrecencias patológicas como las agallas. Los taninos pueden presentarse en todos los tejidos aún en los meristemáticos, pero en monocotiledóneas generalmente son escasos. Los taninos se hallan en células aisladas o en formaciones especiales denominadas sacos taníferos que generalmente forman sistemas conectados. En las células individuales el tanino se encuentra en la vacuola, impregnando las paredes como en el tejido suberoso, o en el citoplasma formando pequeñas gotitas. En relación a su función, se consideran como sustancias que protegen al protoplasto contra la desecación, la putrefacción y protección contra depredadores; así como una reserva relacionada con el metabolismo del almidón, en la formación y transporte de azúcares, como antioxidante y como coloides protectores que mantienen la homogeneidad del citoplasma (4, 8, 9, 14 y 21).

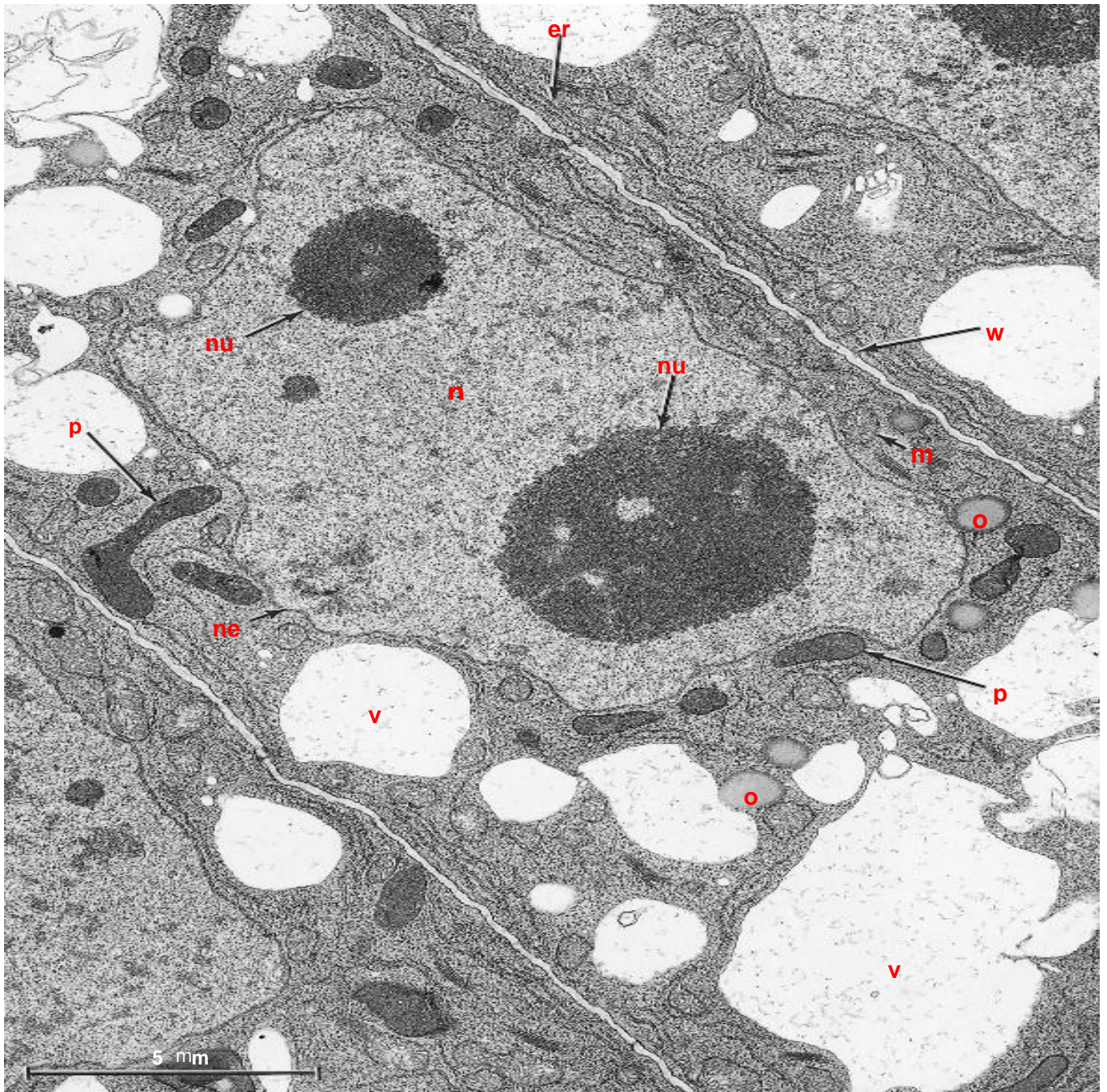
.

## **Cristales**

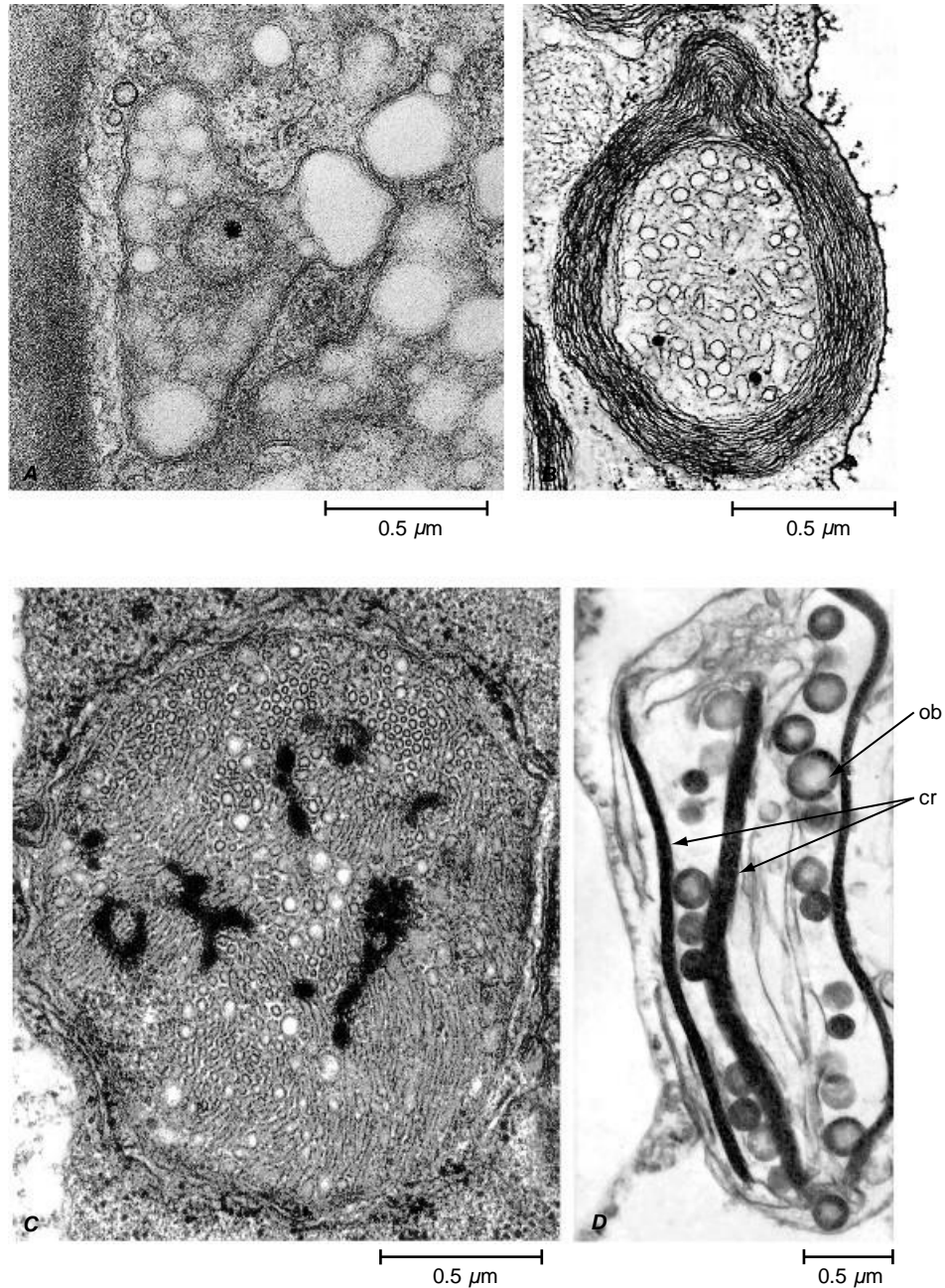
Las plantas depositan con mucha frecuencia cristales inorgánicos en sus tejidos, estos consisten principalmente en sales de calcio y sílice, que se presentan en variadas formas cristalinas prismáticas; cuando son solitarios alargados y macizos se llaman estiloides; si están unidos formando estructuras compuestas pueden llamarse drusas o rafidios. En las vacuolas se encuentran con frecuencia estos tipos de cristales, aunque hay indicaciones de que se forman también en el citoplasma y otros en los ideoblastos, término asignado a las células que difieren en forma y contenido del resto de las células de un mismo tejido.



Las formaciones de carbonato de calcio son raras, la mejor conocida es el cistolito. Dentro de las sales de calcio, la que se presenta con mayor frecuencia en casi todas las familias de las plantas es el oxalato de calcio, que son excrecencias de la pared impregnada con este mineral, es común en la epidermis de las Moraceae en pelos o células alargadas especiales, los litocistes. El sílice se deposita en las paredes celulares o forma corpúsculos en el interior de la célula como ocurre con frecuencia en la epidermis de las gramíneas (4, 8, 9, 14 y 21).



**Figura 4. Partes de la célula en *Nicotiana tabacum*: er, retículo endoplasmático; m, mitocondria; n, núcleo; ne, envoltura nuclear; nu, nucleolo; o, cuerpos de aceite; p, plastidio; v, vacuola; w, pared celular (Esau, 1977)**



**Figura 5. Tipos de cromoplastos. A, cromoplasto globular en *Tagetes petalo*; B, cloroplasto membranaceo de *Narcissus pseudonarcissus* flower; C, cromoplasto tubular de *Palisota barteri* fruit; D, cromoplasto cristalino de *Solanum Lycopersicum* en fruto. Detalles: cr, cristaloides; ob, cuerpo de aceite. (Esau, 1977).**

## **Membrana plasmática**

Cada célula se encuentra rodeada por una membrana plasmática que la rodea, le da forma, es específica de la función de esta y la relaciona con el medio extracelular.

Actúa como una barrera de permeabilidad que permite a la célula mantener una composición citoplasmática distinta del medio extracelular.

Contiene enzimas, receptores y antígenos que desempeñan un papel central en la interacción de las células con otras células, así como con las hormonas y otros agentes reguladores presentes en el líquido extracelular (4, 8, 9,14 y 21).

## **Estructura de la membrana**

Los constituyentes más abundantes son las proteínas y fosfolípidos. La molécula fosfolípidos presenta una cabeza polar y dos cadenas hidrofóbicas, constituidas por ácidos grasos. Los lípidos forman una barrera continua, mantienen la individualidad celular.

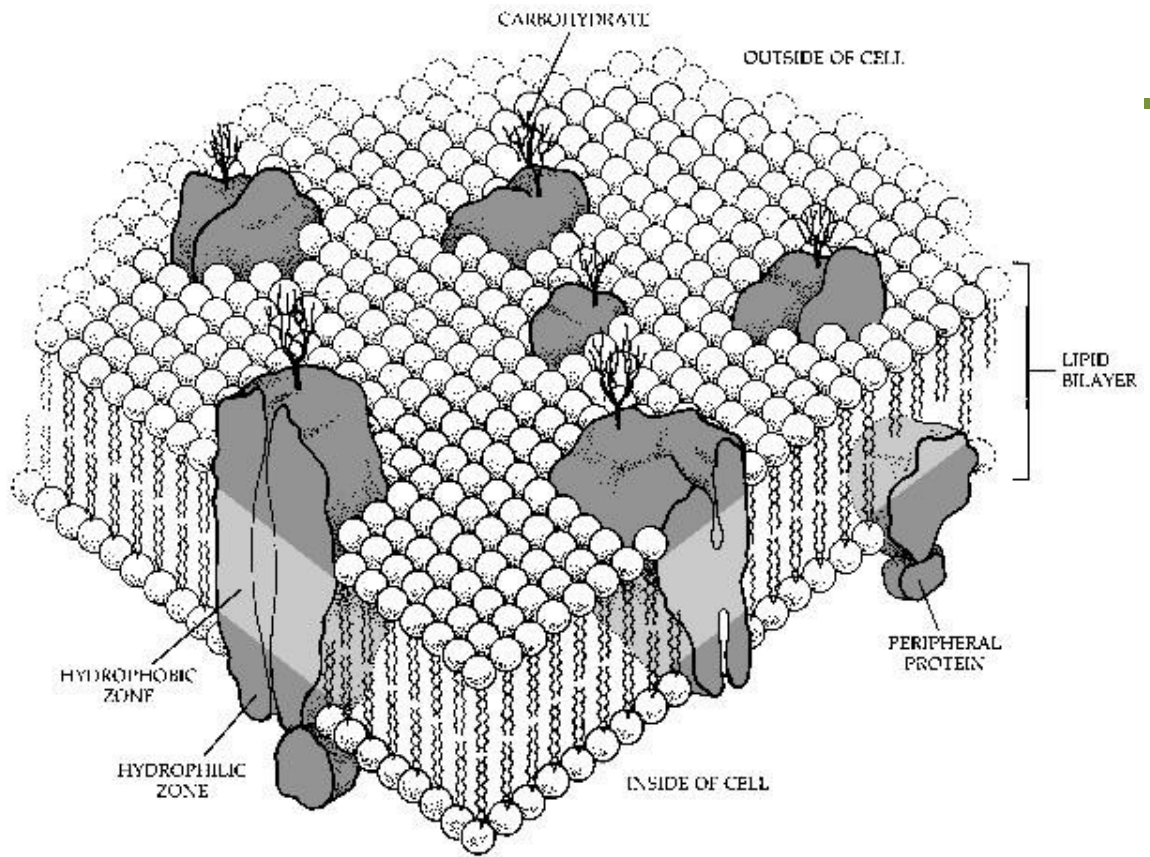
Fosfolípidos principales: los más abundantes suelen ser los que contienen colinas, las lecitinas y las esfingomielinas, aminofosfolípidos, fosfatidilserina y fosfatidiletanolamina.

Otros, fosfatidilglicerol, fosfatidilinositol y la cardiolipina.

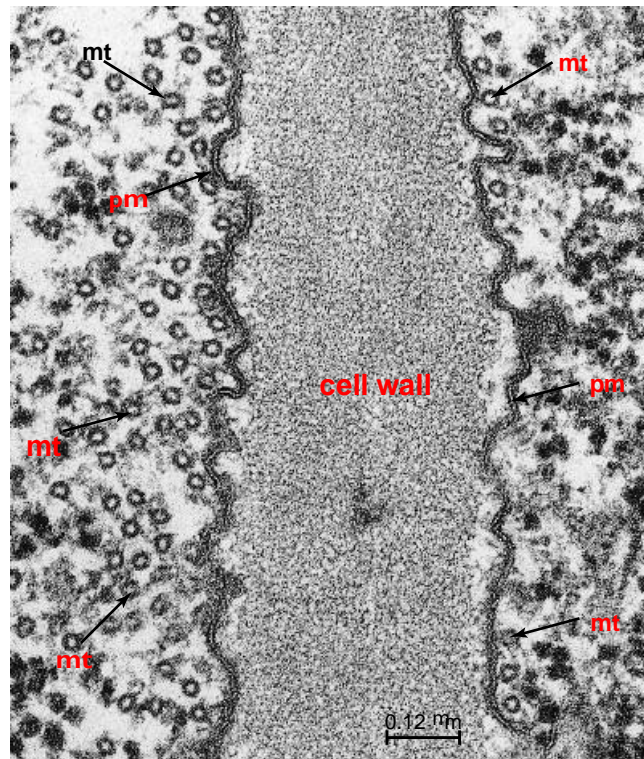
Colesterol: es cuantitativamente importante

Glucolípidos: se encuentran principalmente en las membranas plasmáticas, en las que sus porciones glucídicas sobresalen de la superficie externa de la membrana. (cerebrosidos y gangliosidos) (4, 8, 9,14 y 21).

**Funciones de la membrana plasmática: Recepción de la información:** Las proteínas intrínsecas pueden tener capacidad de captar determinadas sustancias específicas y a partir de ellas transmitir la información celular. Las proteínas intrínsecas con tales cualidades se conocen como receptores. **Permeabilidad:** Se refiere a la posibilidad de transferencia e intercambio de sustancias a través de la membrana esta efectúa el control cualitativo y cuantitativo de la entrada y salida de sustancias y es selectiva porque permite solo el pasaje de ciertas sustancias. **Difusión Simple:** Mecanismo de transporte pasivo, sin consumo de energía celular. A favor del gradiente de concentración. Involucra a moléculas e iones. Las sustancias liposolubles pueden atravesar fácilmente las membranas hasta que el soluto se equilibre a ambos lados de la bicapa. **Osmosis:** Se define como el flujo de agua a través de membranas semipermeables desde un compartimento de baja concentración hacia uno de concentración mayor (4, 8, 9,14 y 21).



**Figura 6. Modelo de Fluido-mosaico de la membrana celular (Esau, 1977).**



**Figura 7. Pared Celular, Membrana celular y microtubulos(Esau, 1977).**

## Aparato de Golgi

El aparato de Golgi es un organelo (orgánulo) presente en todas las células eucariotas excepto los glóbulos rojos y las células epidérmicas. Pertenece al sistema de endomembranas del citoplasma celular (4, 8, 9,14 y 21).

Es el sistema de transporte de la célula

### **Estructura del aparato de Golgi**

Está formado por unos 4-8 dictiosomas, que son sáculos aplanados rodeados de membrana y apilados unos encima de otros, cuya función es completar la fabricación de algunas proteínas (4, 8, 9, 14 y 21).

### **Funciones generales**

El aparato de Golgi se encarga de la modificación, distribución y envío de dichas macromoléculas en la célula. Modifica proteínas y lípidos (grasas) que han sido sintetizados previamente tanto en el retículo endoplasmático rugoso como en el liso y los etiqueta para enviarlos a donde corresponda, fuera o dentro de la célula (4, 8, 9, 14 y 21).

### **Retículo endoplasmático**

El retículo endoplasmático es una red interconectada que forma cisternas, tubos aplanados y sáculos comunicados entre sí, que intervienen en funciones relacionadas con la síntesis proteica, metabolismo de lípidos y algunos esteroides, así como el transporte intracelular. Se encuentra en la célula animal y vegetal pero no en la célula procariota. Es un orgánulo encargado de la síntesis y el transporte de las proteínas (4, 8, 9, 14 y 21).

### **Funciones del retículo endoplasmático**

Síntesis de proteínas: La lleva a cabo el retículo endoplasmático rugoso, específicamente en los ribosomas adheridos a su membrana. Las proteínas serán transportadas al Aparato

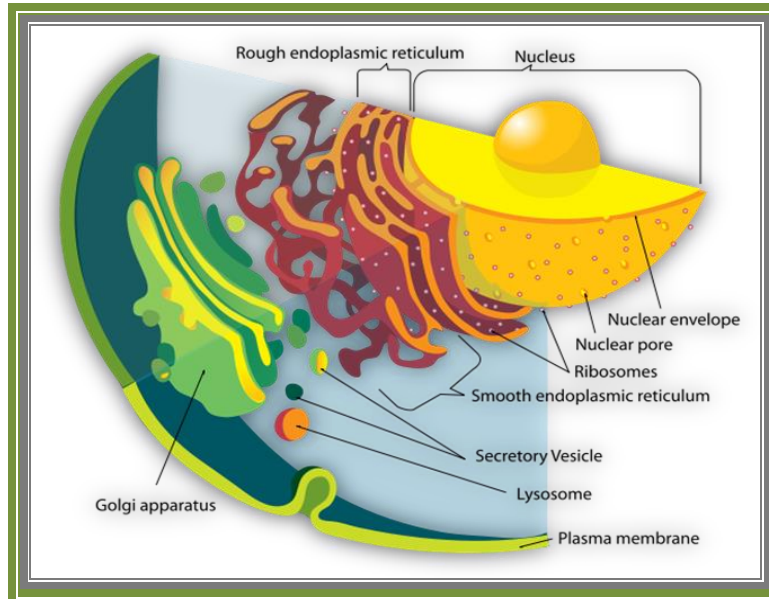


de Golgi mediante vesículas de transición donde dichas proteínas sufrirán un proceso de maduración para luego formar parte de los lisosomas o de vesículas secretoras.

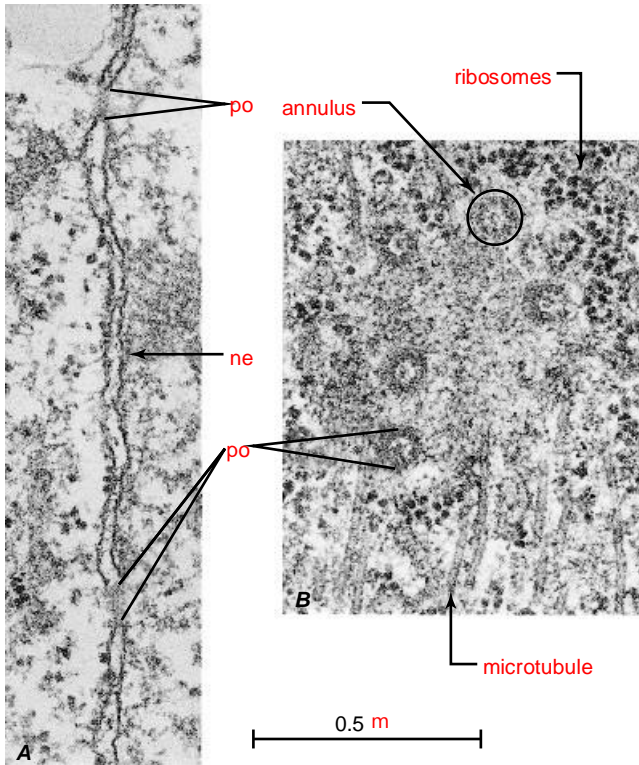
**Metabolismo de lípidos:** El retículo endoplasmático liso, al no tener ribosomas le es imposible sintetizar proteínas pero sí sintetiza lípidos de la membrana plasmática, colesterol y derivados de éste como los ácidos biliares o las hormonas esteroideas (4, 8, 9,14 y 21).

**Detoxificación:** Es un proceso que se lleva a cabo principalmente en las células del hígado y que consiste en la inactivación de productos tóxicos como drogas, medicamentos o los propios productos del metabolismo celular, por ser liposolubles (hepatocitos) (4, 8, 9,14 y 21).

**Glucosilación:** Son reacciones de transferencia de un oligosacárido a las proteínas sintetizadas. Se realiza en la membrana del retículo endoplasmático. De este modo, la proteína sintetizada se transforma en una proteína periférica externa del glucocálix. (4, 8, 9,14 y 21).



**Figura 8. Aparato de Golgi y Retículo endoplasmático (Esau, 1977).**



**Figura 9. Poros, ribosomas, envoltura nuclear, microtubulos y espacio perinuclear (Esau, 1977).**

## **Pared celular**

La pared celular (**Figura 7, 9 y 10**) es un componente estructural típico de las células vegetales, que proporciona una matriz extracelular capaz de controlar los procesos de crecimiento y desarrollo. Tiene funciones variadas y complejas: mantiene la forma de la célula madura, controla la distensión del protoplasto provocada por el agua que ingresa a la vacuola por ósmosis generando el potencial de presión necesario para indicarle a la célula que ya no incorpore más agua, brinda soporte mecánico a la planta y protección contra patógenos potenciales. También define las interrelaciones celulares y forma un espacio continuo dentro de la planta, externo al plasmalema, que constituye el principal

elemento del apoplasto. Externamente, las paredes protegen contra la abrasión del viento, la luz ultravioleta y la desecación. Por otra parte, las paredes celulares contienen una variedad de enzimas por lo que participan en importantes papeles en la absorción, transpiración, transporte, secreción y lixiviación; en las semillas, también pueden almacenar nutrientes. En una planta pluricelular, las células recién formadas son pequeñas en relación a su tamaño final; para adaptarse a su aumento de tamaño, las paredes celulares vegetales jóvenes en crecimiento son más delgadas y únicamente semirrígidas a diferencia Atlas de anatomía vegetal 12 de las paredes que ya han dejado de crecer. En los diversos tejidos vegetales es posible distinguir diferentes capas en la pared celular: a) la lámina media o sustancia intercelular; b) la pared primaria; c) la pared secundaria. La lámina media es el cemento que mantiene unidas las distintas células que forman los tejidos y se disponen entre las paredes primarias de las células vecinas (4, 8, 9, 14 y 21).

### **Composición química**

En las células meristemáticas la pared celular está formada por polisacáridos como la celulosa, que es un polímero ramificado formado por moléculas D-glucosa, unidas entre sí por enlaces glicosídicos  $\beta$ , que unen al carbono 1 con el 4. Las cadenas son lineales y cada unidad tiene una rotación de  $180^\circ$  con respecto a la anterior y subsiguiente por lo que puede formar cadenas de más de 25,000 residuos de glucosa. Las hemicelulosas son un constituyente de la matriz de la pared celular que no forman agregados como la celulosa pero pueden cocrystalizar con las cadenas de celulosa mediante puentes de hidrógeno entre los grupos  $-\text{CH}_2\text{OH}$  de las cadenas de celulosa y los oxígenos glicosídicos de las hemicelulosas. Las pectinas se encuentran en todas las paredes primarias y láminas medias

celulares, forman una red que se mezcla con la red celulosa-hemicelulosa. Las pectina son polímeros del ácido D-galacturónico, conectados por enlaces glicosídicos  $\alpha$  1,4 esterificados por grupos metilo. Las oligosacarinas son pequeñas moléculas, biológicamente activas, que afectan la regulación del crecimiento, morfogénesis, reproducción y mecanismos de defensa. La pared celular contiene proteínas estructurales como glicoproteínas y proteoglicanas a las que se les atribuye funciones que determinan la arquitectura, la extensión y la expansión de la pared; también posee enzimas cuya actividad es llevada a cabo tanto en la pared como en otras partes celulares (4, 8, 9,14 y 21).

Las paredes celulares de las células en crecimiento reciben el nombre de paredes celulares primarias se componen de cadenas de celulosa inmersas en una matriz compuesta predominantemente por los polisacáridos hemicelulosa y pectina. La célula completamente desarrollada puede conservar su pared celular primaria, a veces engrosándola considerablemente, o en ciertos casos, depositando nuevas capas gruesas de composición diferente, denominadas paredes celulares secundarias. El componente típico de las paredes secundarias es la lignina, compuesta por alcoholes aromáticos polimerizados. La lignina se forma paralelamente a la formación de la pared secundaria; de esta forma tanto la pared primaria como la secundaria quedan impregnadas por esta sustancia que queda unida covalentemente a la matriz de los polisacáridos resultando una estructura muy fuerte y resistente a la degradación. La lámina media que une las paredes primarias de dos células contiguas es delgada, coloidal, amorfa, muy hidrofílica, isotrópica y está constituida por pectinas (4, 8, 9,14 y 21).

### **Organización de la pared**

Cada protoplasto forma la pared de adentro hacia fuera de tal modo que la capa más vieja es la más externa. Muchas de las paredes son complejas y consisten de varias capas, en que la orientación de las microfibrillas varía de una capa a otra como respuesta a estímulos hormonales; pudiendo así ser diferente en las diversas caras o superficies de la célula. En la pared secundaria se ha considerado la existencia de tres capas: la S1, próxima a la pared primaria, con dos grupos de fibrillas cruzadas formando una hélice muy atenuada, alrededor del eje longitudinal de la célula. En la capa S2, las microfibrillas forman un ángulo pequeño con respecto al eje celular y un ángulo recto respecto a la S1. Cuando la S3 está presente, las microfibrillas se distribuyen helicoidalmente respecto al eje celular. En la madera usualmente la S2 es muy gruesa y excede tanto a la S1 como a la S3. La deposición de la lignina se inicia en la pared primaria y avanza hacia las otras capas. Cuando termina el crecimiento celular es posible que la célula deposite nuevos materiales en la pared celular primaria o bien nuevas capas enteras de diferente composición formando la pared celular secundaria. La forma y composición de la pared celular final está estrechamente relacionada con la función que esta célula especializada va a desarrollar. Este hecho permite diferenciar cada tipo celular por su morfología (4, 8, 9, 14 y 21).

### **Modificaciones de la pared**

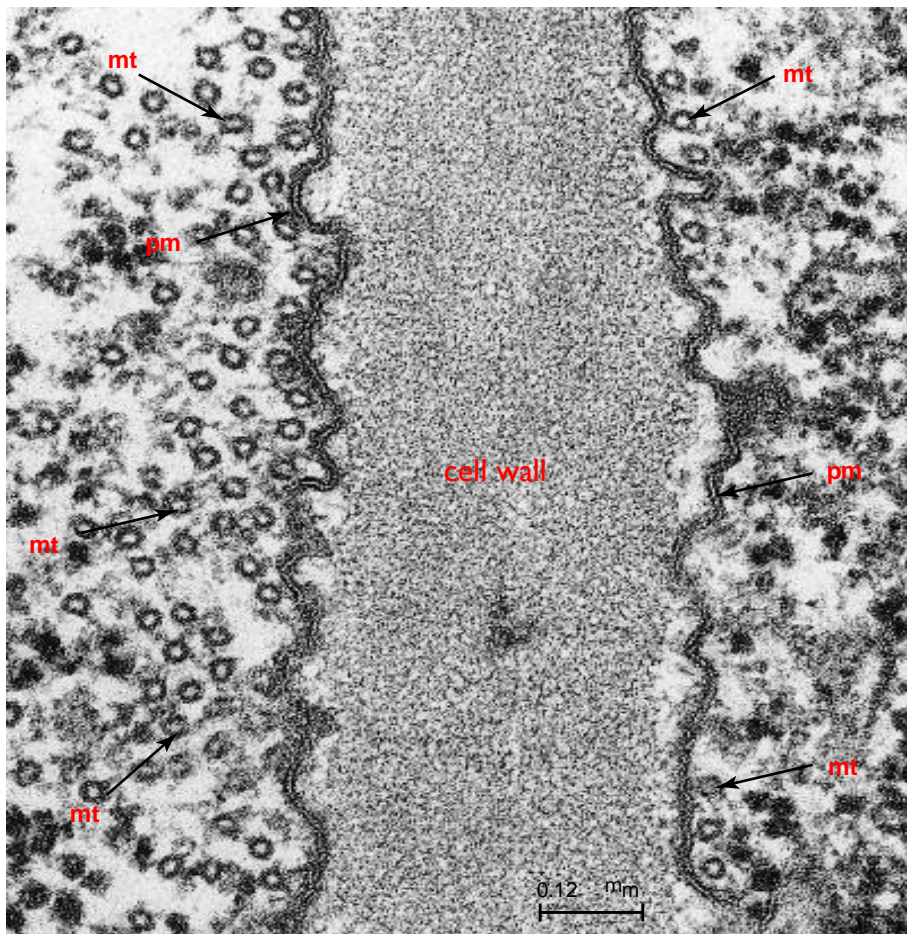
Cutinización. La acumulación de cutina en las paredes externas de los tejidos que están en contacto con el medio ambiente, excepto peridermis y heridas. La cutina, junto con microfibrillas de polisacáridos y ceras, forma una gruesa capa llamada cutícula, que limita severamente la pérdida de agua a través de estos tejidos. La cutina es una red

tridimensional constituida por una mezcla de poliésteres de ácido palmítico hidroxilado y ácido oleico (4, 8, 9,14 y 21).

**Suberificación.** Proceso que tiene lugar en los tejidos derivados del felógeno o cambium suberoso. Consiste en la superposición de láminas de suberina. Confiere gran impermeabilidad y defensa contra diversos agentes. La suberina es un polímero de compuestos fenilpropanoides largas cadenas de ácidos grasos y alcoholes, ácidos hidroxigrasos y ácidos dicarboxílicos (4, 8, 9,14 y 21) .

**Lignificación.** Consiste de la impregnación de toda la pared celular, tanto primaria como secundaria de lignina, que es el componente de naturaleza no polisacárida más abundante en paredes celulares. El proceso de lignificación es común en todas las células de los haces leñosos, y a este proceso debe la madera su dureza y resistencia mecánica. La lignificación es común de las fibras de esclerénquima y de las esclerocélulas (4, 8, 9,14 y 21).

La lignina es un polímero fenólico, la molécula básica deriva de tres alcoholes: p-coumaril, coniferil y sinapil, colectivamente llamados monolignoles. Otros procesos de la modificación en la composición de la pared son gelificación, pigmentación y mineralización (4, 8, 9,14 y 21).



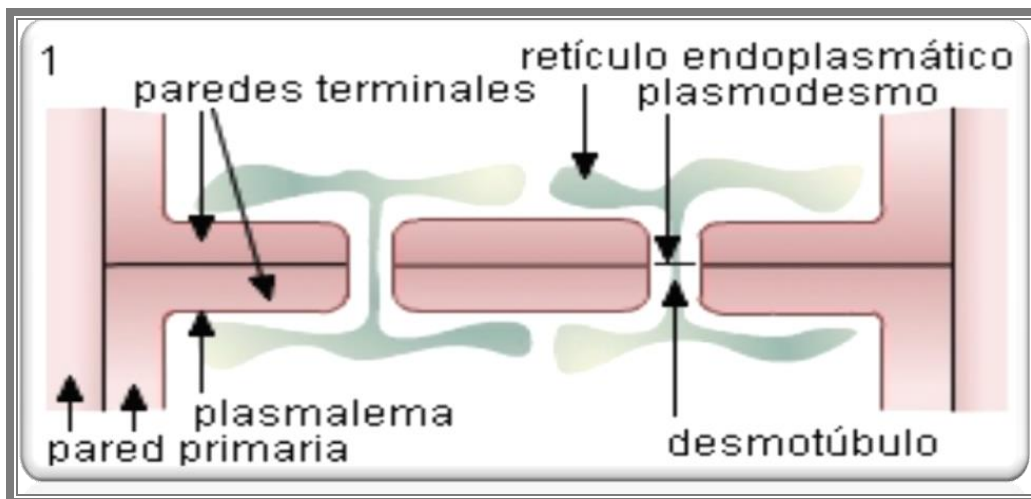
Figura

10. Pared celular, membrana celular y mitocondrias (Esau, 1977).



## Comunicación entre células

Toda célula viva de una planta está relacionada con sus vecinas mediante unos finos conductos citoplasmáticos, que reciben el nombre de plasmodesmos (**Figura 11**) y que atraviesan las paredes colindantes, la membrana plasmática se continúa con la célula vecina por cada plasmodesmo. Un plasmodesmo es un conducto protoplasmático más o menos cilíndrico revestido de membrana de un diámetro entre 20  $\mu\text{m}$  y 40  $\mu\text{m}$ . Cuando los plasmodesmos se encuentran en grupos, al parecer, inhiben los depósitos celulósicos que dan lugar a la pared celular primaria, por lo que esta pared estará deprimida. A esta región se le denomina campos de poros primarios en cuyo nivel existe mayor permeabilidad (4, 8, 9, 14 y 21).



**Figura 11. Plasmodesmos (Esau, 1977)**

La inhibición de la formación de la pared secundaria, sea sobre un campo de poros primarios o sobre cualquier otra zona de la pared, da lugar a la formación de una puntuación, también llamado poro o punteadura. En las puntuaciones la pared secundaria no existe en absoluto, sólo lámina media y una fina capa de pared celular primaria. Las puntuaciones constan de una cavidad y una membrana de cierre. Se presentan dos tipos fundamentales de puntuaciones: puntuaciones simples y puntuaciones areoladas o rebordeadas. Las puntuaciones simples se presentan en células parenquimáticas, en esclereidas y en fibras extraxilares. Las puntuaciones areoladas se observan en las células conductoras y de sostén del xilema. En coníferas es típico que las puntuaciones areoladas presente una estructura característica, constituyendo el margo mientras que el centro se engrosa formándose el llamado toro o torus. En coníferas existen también las puntuaciones semirebordeadas que conectan las traqueidas del sistema axial con el parénquima radial. En los vasos de las dicotiledóneas se pueden presentar puntuaciones simples o rebordeadas (4, 8, 9, 14 y 21).

## **Notas de interés**

Desde la antigüedad, el hombre ha utilizado los componentes de la célula vegetal para satisfacer sus necesidades nutrimentales, de habitación, vestido, medicinales y otros. Cuando se habla del contenido de pared celular en alimentos se utiliza el término fibra alimentaria, que se define como el grupo de polisacáridos y lignina de los alimentos que no son digeridos por el tracto gastrointestinal de los humanos. El papel de la fibra alimentaria en la nutrición y la salud humana ha sido de gran importancia, la mayor parte

de la fibra que consumimos proviene de las paredes celulares de frutos, vegetales, cereales y otras semillas como las leguminosas. Una alimentación rica en vegetales, es decir que contiene paredes celulares, protege contra enfermedades propias de las comunidades occidentales como estreñimiento, padecimientos diverticulares, cáncer en colon, diabetes, obesidad y otras. La fibra alimentaria total está constituida por dos tipos de componentes: los insolubles (celulosa, hemicelulosas y lignina) y los solubles (pectinas y gomas y una pequeña proporción de hemicelulosas). Lo anterior ha tenido repercusión en el campo de la nutrición, ya que desde el punto de vista fisiológico los dos grupos tienen diferentes funciones en el tracto digestivo, la fibra insoluble acelera los movimientos a través del intestino, mientras que la fibra soluble al parecer regula la concentración de la glucosa y del colesterol en la sangre; además, incrementa la viscosidad del contenido intestinal lo que aparentemente modifica la asimilación de algunos nutrimentos y toxinas. Otro uso utilitario de los componentes de la pared celular es su uso en la industria, por ejemplo la celulosa que se extrae de diversas fuentes, tiene múltiples aplicaciones como combustible, obtención de papel de todos tipos desde cartón, periódico, cartulina, o facial. La celulosa también es sustrato para la obtención de alfa celulosa que a su vez es la base para la producción de rayón, explosivos, forrajes, plásticos, etc. La metil celulosa que se obtiene de la esterificación de la celulosa, se utiliza en la fabricación de adhesivos para papel con cubierta vinílica, jabón líquido, dentífricos, lociones, detergentes, y muchos otros productos. Las hemicelulosas también tienen diversos usos industriales; debido a sus propiedades fisicoquímicas y a que son abundantes en la naturaleza, se utilizan en la fabricación de hojuelas de maíz, de emulsivos, estabilizantes de productos alimenticios y farmacéuticos como sopas, helados y dentífricos, aclaradores de jugos y vinos etc. Las

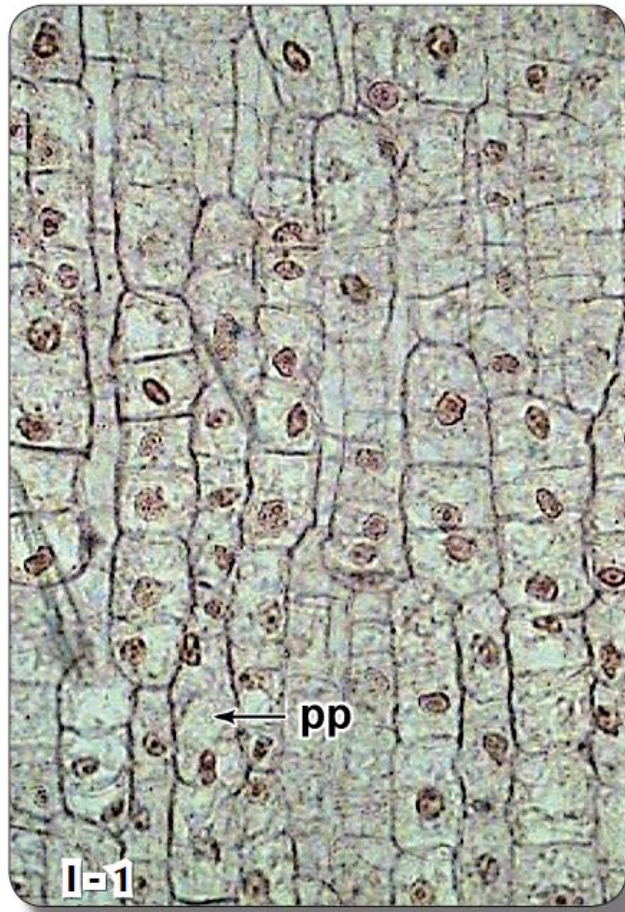
gomas y mucílagos tienen vasto uso en la industria de los alimentos, como aclarantes de jugos y vinos, elaboración de pudines, gelatinas, como aditivos para estabilizar mezclas alimenticias y muchos más. Las sustancias pécticas también tienen uso industrial múltiple en la elaboración de geles, mermeladas y embutidos. Muchos otros componentes celulares tienen importancia mercantil para el hombre. Por ejemplo, el almidón comercial es obtenido de varias fuentes, como del endospermo de cereales, raíces carnosas de la tropical *Manihot esculenta* (almidón de tapioca), tubérculos de *Solanum tuberosum* (papa), rizomas tuberosos de *Marantha arundinacea* y tallos de *Metroxylon sagu* (almidón de sagú) (4, 8, 9, 14 y 21).

**Cuadro I. Resumen de las Partes de la Célula**

<b>PARTE DE LA CELULA</b>	<b>ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN QUÍMICA</b>	<b>UBICACIÓN</b>	<b>FUNCIÓN</b>
<b>Pared celular</b>	Estructura rígida compuesta por polisacárido estructural llamado celulosa en las células vegetales; en tanto que en las bacterias se encuentra constituida por peptidoglicanos. En la mayoría de los hongos de celulosa y quitina, excepto en los mycoplasmas.	Se encuentra recubriendo la membrana celular de las células vegetales, de las bacterias, de las cianobacterias y los hongos.	Brinda rigidez, permite el paso del agua, del aire y materiales disueltos. La pared celular presenta aberturas que están en contacto con las membranas, permitiendo el paso de material de una célula a otra.
<b>Membrana celular</b>	Estructura formada por una doble unidad de membrana, constituida químicamente de fosfolípidos, proteínas y carbohidratos	Delimita al citoplasma de todas las células, en relación con su medio externo.	Delimita al contenido citoplasmático, da protección y permite el paso de algunas sustancias, e impide el de otras, ya que es selectivamente permeable. El paso de sustancias se lleva a cabo por diversos mecanismos de transporte a nivel de membrana como: difusión, ósmosis, difusión facilitada, endocitosis y exocitosis (transporte activo).
<b>Retículo endoplasmico</b>	Es un canal formado por un sistema complejo de membranas, constituido químicamente por una estructura lipoproteica similar a la membrana celular.	Se localiza en el interior de la célula; comunicando al núcleo con el exterior.	Participa en el proceso de la síntesis de proteínas. A través del retículo fluyen sustancias de desecho o de alimento para la célula hacia el aparato de Golgi.
<b>Aparato de Golgi</b>	Serie de sacos planos y membranosos de naturaleza química lipoproteica.	Se localiza en el citoplasma, cerca del núcleo.	Almacena sustancias como lípidos y proteínas y secreción de ellas.

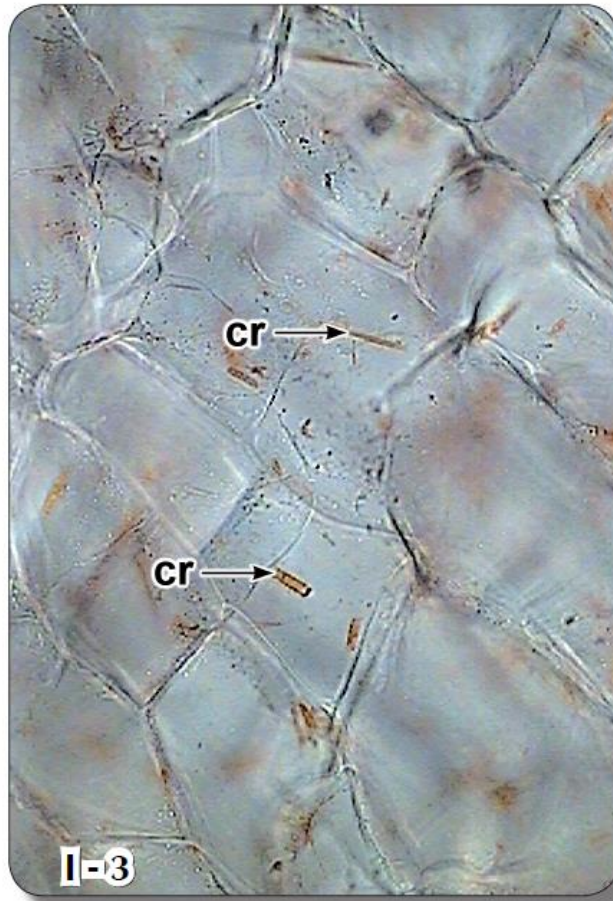
<b>PARTE DE LA CELULA</b>	<b>ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN QUÍMICA</b>	<b>UBICACIÓN</b>	<b>FUNCIÓN</b>
<b>Lisosomas</b>	Son estructuras esféricas rodeadas de una membrana, son producidas por el aparato de Golgi; en su interior se encuentran enzimas hidrolíticas.	Se les encuentra suspendidos en el citoplasma de las células.	Están implícitos en la digestión de macromoléculas, como son lípidos, polisacáridos, proteínas y ácidos nucleicos.
<b>Plastos</b>	Estructuras membranosas de composición química lipoproteica, que en su interior pueden contener pigmentos, enzimas y/o iones.	Se encuentran en el citoplasma de las células tanto de algas como de plantas.	Sirven como almacén (*) de proteínas, lípidos o almidón (leucoplastos) , o bien de pigmentos (cromoplastos). En el caso de los cloroplastos, participan en el proceso anabólico de la fotosíntesis.
<b>Mitocondria</b>	Organelo de doble membrana donde la interna forma crestas mitocondriales de composición química lipoproteica; en las crestas encontramos los transportadores de electrones y en la matriz mitocondrial una gran cantidad de enzimas. Las mitocondrias contienen su propio ADN, independiente del núcleo.	Inmersas en el citoplasma de las células.	Dentro de la matriz mitocondrial se realizan las reacciones químicas metabólicas del ciclo de krebs o del ácido cítrico. En tanto que en las crestas mitocondriales tiene lugar la cadena respiratoria; aquí también ocurre la fosforilación oxidativa. La mitocondria también es conocida como la "central energética", ya que en ella se produce la mayor cantidad de energía metabólica bajo la forma de trifosfato de adenosina (ATP).
<b>Vacuola</b>	Estructuras membranosas sencillas de naturaleza química lipoproteica, de forma esférica.	Sé sitúan en el citoplasma de las células animales y vegetales.	Almacenamiento, digestiva, de excreción y osmorreguladoras (contráctiles).
<b>Centriolo</b>	Son estructuras tubulares de naturaleza química proteica.	Se encuentra cerca del núcleo.	Durante la división celular el centriolo se divide y da origen a los asters, de los cuales se producen las fibras del huso acromático o mitótico.

<b>PARTE DE LA CELULA</b>	<b>ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN QUÍMICA</b>	<b>UBICACIÓN</b>	<b>FUNCIÓN</b>
<b>Citoesqueleto</b>	Interconexiones de naturaleza química proteica, de forma filamentosas.	Se localiza en el interior del citoplasma.	Mantiene la forma tridimensional de la célula fija a los organelos y permite un tránsito interno.
<b>Núcleo</b>	Estructura de forma esférica y de tamaño variado; en las células eucarióticas se presenta una membrana nuclear con poros, que encierra al nucleoplasma, al nucleolo y a la cromatina (ADN); también se encuentran enzimas y proteínas. En las células procarióticas no hay membrana nuclear	Posición central, tendiente hacia la región superior.	Coordina los procesos metabólicos, la reproducción y la herencia, por lo cual se considera el centro de control de la célula
<b>Nucleolo</b>	Estructura esférica, de composición química a base de RNA.	Dentro del núcleo.	A partir de este se sintetiza el RNA <sub>r</sub> y el RNA <sub>t</sub> .

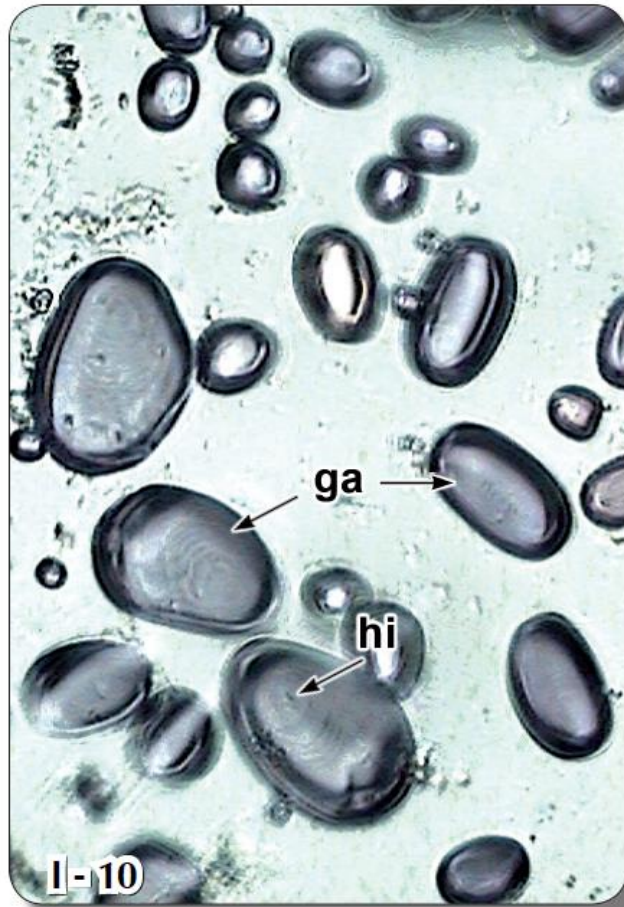


**Figura 12. *Monstera deliciosa*. Monocotyledoneae. Sección longitudinal del ápice radical 400x. Proplastidios (pp) apenas perceptibles en células de la zona de diferenciación**

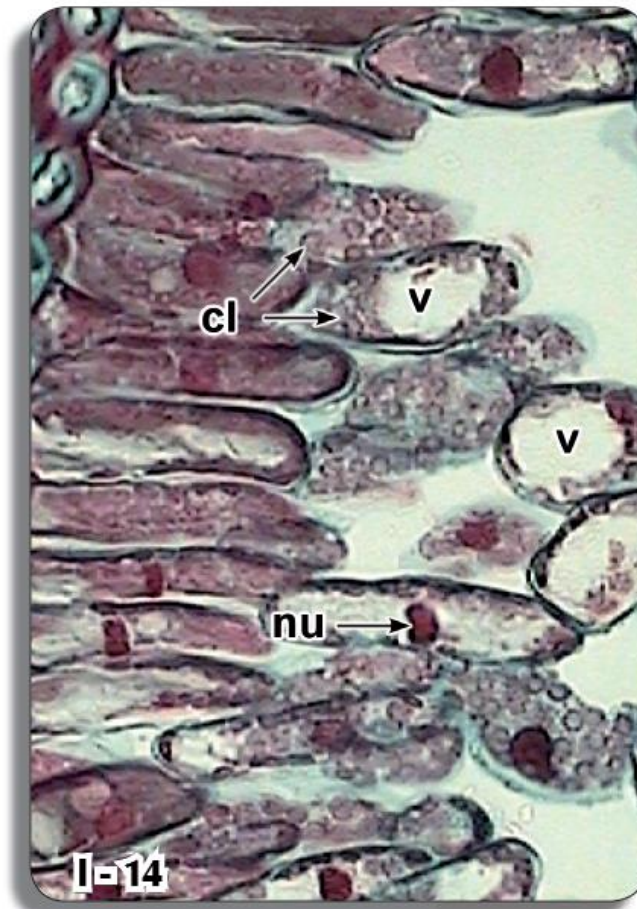




**Figura 13. *Daucus carota*. Dicotyledoneae. Sección transversal de raíz 400x. Cromoplastos cristalizados (cr) Fuente: (Azacarraga y et al, 2010)**



**Figura I4. *Solanum tuberosum*. Dicotyledoneae. Raspado del tejido de almacenamiento del tubérculo 400x. Grano de almidón (ga), hilo (hi) Fuente: (Azacarraga y et al, 2010)**



**Figura 15. Zantedeschia aethiopica. Monocotyledoneae Sección transversal de la hoja 400x. La ubicación de las vacuolas (v) se manifiesta por una zona incolora en la parte central del protoplasto, cloroplastos (cl) Fuente: (Azacarraga y et al, 2010)**

**Actividad a desarrollar por el alumno (Célula).**

- ✓ Figura de Célula. Dibuja tu propia célula vegetal en la cual se puedan identificar los organelos que la integran.
- ✓ Establecer cuales son las diferencias entre célula vegetal y célula animal.
- ✓ Investigar y describir las formas de división celular.

## II. MERISTEMOS

En esta unidad está estructurada de la siguiente manera:

- Resumen de la unidad
- Tipos celulares que forman al tejido meristemático
- Origen
- Estructura
- Formas de reconocimiento de los órganos vegetales
- Notas de interés
- Actividades para el alumno

Esta Unidad de meristemas esta relacionada con la Unidad II del programa de Anatomía de plantas Cultivadas

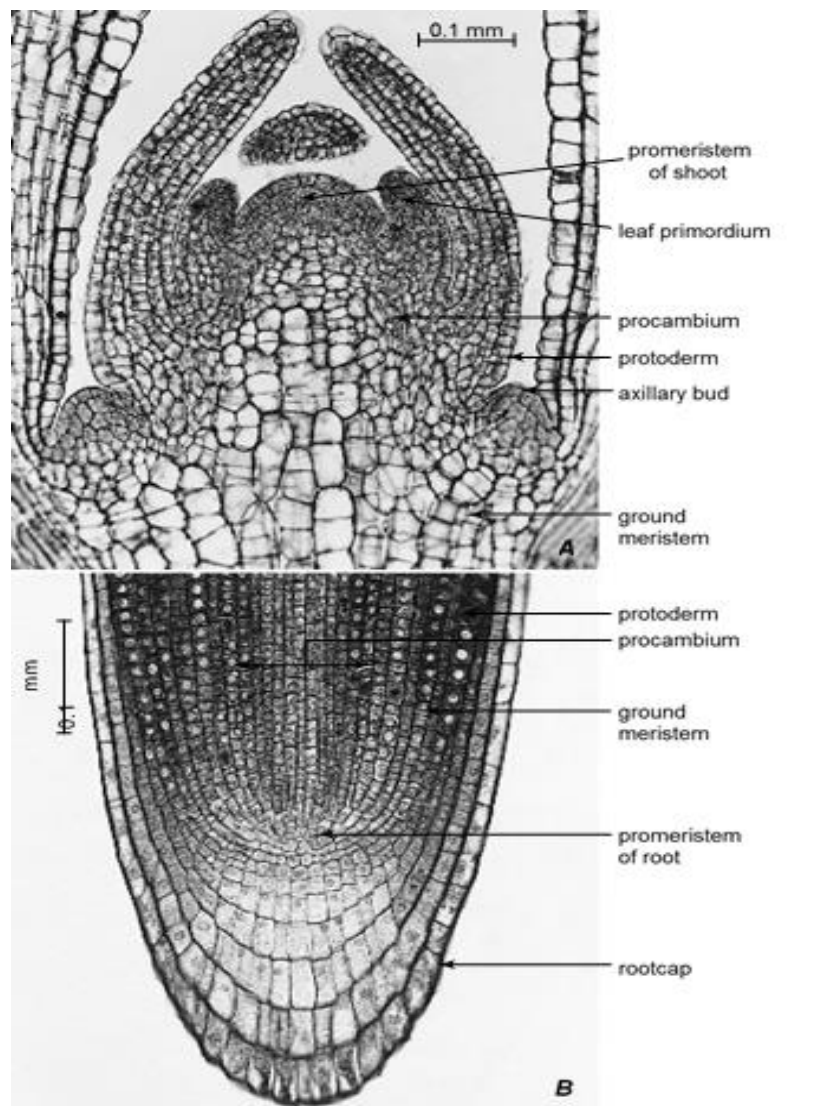
### Resumen

Desde que comienza la división del cigoto de una planta vascular hasta el término de su ciclo de vida, se producen nuevas células, las cuales conforman paulatinamente distintos órganos. En las primeras etapas embrionarias, la reproducción de nuevas células se lleva a cabo en todo el organismo, pero cuando el embrión se transforma en una planta independiente, la adición de células queda restringida a ciertas regiones, llamadas meristemas (término griego que significa división). En estas zonas, las células conservan su carácter embrionario y permanecen durante toda la vida de la planta, por consiguiente, en el cuerpo vegetal adulto, encontramos tanto tejidos maduros como tejidos juveniles. Sin embargo, otros tejidos vivos, además de los meristemas, pueden inducirse para producir nuevas células, por ejemplo el parénquima, cuyas células son capaces de reasumir

crecimiento cuando hay rupturas en alguna parte de la planta. La actividad de los meristemas (**Figura 16**) se mantiene indefinidamente, no sólo aumentando el número de células del vegetal sino perpetuándose a sí mismos. En la zona meristemática, algunas de las células producidas por la división celular permanecen en estado meristemático, es decir, con la capacidad de seguir dividiéndose, son las llamadas células iniciales o iniciales meristemáticas, mientras que otras se diferencian transformándose en células que conforman otros tejidos denominados tejidos adultos o permanentes, son las llamadas células derivadas. Las células iniciales son totipotentes (del latín totus, entero), esto significa que tienen la capacidad de producir todos los diferentes tipos de células vegetales, así como de desarrollar una planta completa.

Los meristemas están implicados en el crecimiento de las plantas, permitiéndoles el incremento en volumen y superficie. El crecimiento de plantas multicelulares está basado en la división y alargamiento celular, después de éste último, las células se diferencian y eventualmente maduran. La diferenciación se refiere a la sucesión de cambios en forma, estructura y función de la progenie de las células meristemáticas derivadas y su organización en tejidos y órganos. Se puede hablar de diferenciación de una sola célula, de un tejido (histogénesis), de un órgano (organogénesis) o de la planta como un todo (morfogénesis). En los meristemas se lleva a cabo la síntesis de algunas hormonas vegetales, también conocidas como fitohormonas, que juegan un papel importante en la regulación del crecimiento celular y de la planta misma, actúan como mensajeros químicos, o señales estimuladoras o inhibitorias entre las células. Las cinco hormonas (auxinas, giberelinas, citocininas, ácido abscísico y etileno) que forman parte del grupo principal de

hormonas vegetales, se han encontrado en la región cambial y están implicadas en su actividad, sin embargo, evidencias experimentales indican que las auxinas ejercen el papel predominante. En los meristemas apicales las dos fitohormonas que se producen son las auxinas y las citocininas.



**Figura 16. Apice radicular y apice caulinar**



## **Características celulares**

Las células meristemáticas son muy similares a las células del parénquima. Presentan variación en tamaño, forma y características citoplasmáticas, por lo que se ha sugerido el término eumeristemo (meristemo verdadero), para designar al meristemo formado de células pequeñas, casi isodiamétricas, de paredes delgadas y ricas en citoplasma (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

Los ápices de tallos, las células meristemáticas durante la división celular, tienen paredes relativamente delgadas, son pobres en materiales de almacén, sus plastidios están en forma propastidial, el retículo endoplásmico es escaso, las mitocondrias tienen pocas crestas, hay cuerpos de Golgi y microtúbulos, las vacuolas son pequeñas y están dispersas. En las capas más profundas de los meristemos apicales las células están altamente vacuoladas y contienen almidón. Antes de la germinación de la semilla, los meristemos del embrión contienen materiales de almacén. En el cambium vascular (meristemo lateral), durante el periodo de división celular, las células están altamente vacuoladas, con una o dos grandes vacuolas limitando el denso citoplasma a una capa parietal delgada que contiene retículo endoplásmico rugoso y otros componentes celulares. Con frecuencia se describen con un núcleo grande, pero la proporción del tamaño celular y el tamaño nuclear varía considerablemente. Generalmente, las células meristemáticas más grandes tienen núcleos más pequeños en proporción al tamaño celular. El núcleo también muestra variación estructural durante los cambios en la actividad mitótica (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

## **Clasificación de meristemos**

Los meristemos se pueden clasificar siguiendo diferentes criterios: por su posición en el cuerpo de la planta o por su origen y los tejidos que originan (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

### **Por su posición en el cuerpo vegetal**

**Apicales.** Localizados en los ápices de raíces y tallos, por división celular forman el cuerpo primario de la planta. Su actividad está asociada con el aumento en longitud y un crecimiento limitado en anchura, los tejidos que originan se llaman tejidos primarios (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

**Laterales.** Se sitúan paralelamente a la circunferencia del órgano en que se encuentran, usualmente de tallo y raíz. Estos meristemos son el cambium vascular y el cambium suberoso o felógeno. Su actividad está asociada con el aumento en grosor, los tejidos que originan se llaman tejidos secundarios (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

**Intercalares.** Tejidos derivados del meristemo apical que continúan con su actividad meristemática a cierta distancia del meristemo (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

La palabra intercalar implica que el meristemo está inserto (intercalado) entre tejidos que no son meristemáticos. Se encuentran entre los tejidos maduros, por ejemplo en la base de los entrenudos y vainas de las hojas de las monocotiledóneas, particularmente de las

gramíneas. Este tipo de regiones de crecimiento, contienen elementos de tejido conductor y eventualmente son transformados en tejidos maduros, aunque sus células de parénquima retienen la capacidad para reasumir crecimiento. Los meristemas intercalares no tienen el mismo rango que los meristemas apicales y laterales puesto que no contienen células que puedan ser llamadas iniciales (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

## **Por su origen y tejidos que originan**

**Primarios.** Meristemas cuyas células provienen directamente de las células embrionarias (células iniciales) que siempre han estado implicadas en la división celular y crecimiento. Los meristemas primarios pueden ser apicales o intercalares (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

## **Meristemas Secundarios.**

Se desarrollan a partir de los tejidos adultos ya diferenciados, son responsables del incremento en amplitud (crecimiento secundario) de tallos y raíces. En esta categoría se ubican el cambium vascular y el cambium suberoso o felógeno (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

## **Meristemas primarios**

En los meristemas primarios se pueden reconocer regiones con diferentes grados de diferenciación: a) el promeristemo que consta de células iniciales apicales y las células más próximas que derivan de ellas y b) la zona meristemática donde hay grupos de células que han sufrido cierto grado de diferenciación, en esta área se pueden distinguir los siguientes tres tipos de meristemas: **Protodermis.** La capa más externa de células de la cual se

origina el tejido epidérmico. **Procambium.** También llamado tejido provascular, se identifica como líneas de células alargadas que conectan al tejido vascular maduro; de este meristemo se forman los tejidos vasculares primarios (xilema y floema primarios). **Meristemo fundamental.** Se localiza entre la protodermis y el procambium; de él se derivan los tejidos fundamentales: parénquima, colénquima y esclerénquima (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

### **Ápice radicular**

Es la parte apical de las raíces, ahí se encuentra la zona promeristemática, en una posición subapical y protegida por células parenquimáticas que constituyen la caliptra o cofia. En esta zona se localizan las células iniciales y la zona meristemática de la que se derivan la protodermis, el meristemo fundamental y el procambium. Cerca del ápice de la raíz se encuentran las células más jóvenes y menos diferenciadas, apareciendo progresivamente, a mayor distancia, células más maduras y más grandes. La zona de maduración se reconoce por la presencia de pelos radicales (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

El meristemo del ápice radicular no forma apéndices laterales comparables a hojas y ramas como sucede en el ápice caulinar, por lo tanto, no muestra cambios periódicos en forma y estructura, como ocurre comúnmente en éste cuando inicia la formación de las hojas. Las ramificaciones de la raíz generalmente se inician lejos de la región más activa de crecimiento y surgen en tejidos internos (endógenamente) (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

El eje de la raíz joven está dividido, con cierta claridad, en el futuro cilindro central y el córtex. En su estado meristemático, el tejido de estas dos regiones consta de procambium y meristemo fundamental, respectivamente. Puede considerarse como procambium a todo el cilindro central completo de la raíz joven, si este cilindro eventualmente se diferencia en tejido vascular. Sin embargo, muchas raíces tienen una médula en el centro, esta región frecuentemente se interpreta como un potencial cilindro vascular, pero en el transcurso del desarrollo, deja de diferenciarse como tal. En este contexto, la médula es considerada como parte del cilindro vascular originándose del procambium. El punto de vista contrario, es que la médula en la raíz, es un tejido fundamental similar al de la médula en el tallo y diferenciada a partir de un tejido fundamental. La capa externa de la raíz joven se le conoce con el nombre de protodermis. Usualmente ésta no surge de una capa separada del promeristemo, tiene un origen común ya sea en el córtex o en el ápice radical (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

### **Ápice caulinar**

Es la parte terminal del tallo principal y sus ramificaciones, situada inmediatamente por encima del último primordio foliar. Esta zona meristemática varía entre las especies de espermatofitas en cuanto a tamaño, forma y aspectos de su estructura interna. Respecto a la estructura del ápice caulinar de las angiospermas, se desarrolló la teoría túnica-carpus, la cual propone que la región inicial del meristemo apical está diferenciada en dos regiones: 1) la túnica, constituida por una o varias capas superficiales de células, dependiendo de la especie y la etapa de desarrollo en que se encuentre; aquí las células se dividen en planos perpendiculares a la superficie del meristemo (divisiones anticlinales); y

2) el corpus, masa celular que consta de varias capas de profundidad donde las células se dividen en varios planos; está rodeado por la túnica (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

Se han reconocido diferentes tipos de corpus, uno de ellos es el tipo normal de corpus de angiospermas en el que se distinguen tres zonas: la zona de las células madres centrales, el meristemo central y el meristemo lateral. El meristemo lateral contribuye al desarrollo de los primordios foliares, del córtex, de todo o parte del procambium y a veces también de la región más externa de la médula. La epidermis y sus derivados se originan a partir de la capa más externa de la túnica llamada protodermis, los demás tejidos de la planta se pueden formar de la túnica o del corpus, dependiendo de la especie (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

El concepto túnica-corpora llega a ser inadecuado para la caracterización del meristemo apical de gimnospermas. Generalmente las especies de este grupo no muestran una organización de túnica y corpus en el ápice caulinar, es decir no tienen capas superficiales estables dividiéndose únicamente anticlinalmente; sino que las capas más externas del meristemo apical tienen divisiones anticlinales y periclinales, y las células resultantes contribuyen a la formación de tejidos periféricos e internos de la parte aérea. Los estudios de ápices de gimnospermas conducen al reconocimiento de una zonación, llamada zonación citohistológica, basada no únicamente en los planos de división sino también en la diferenciación citológica e histológica y los grados de actividad meristemática de los complejos componentes celulares. En muchas angiospermas también se ha observado una zonación similar imponiéndose sobre la organización túnica-corpora (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

El ápice caulinar produce órganos laterales y por consiguiente la estructura y actividad del meristemo apical caulinar puede ser considerada en relación al origen de órganos laterales, especialmente de hojas, que se inicia en la zona periférica del ápice caulinar. Los botones axilares surgen del meristemo apical, más frecuentemente en la axila de la segunda o tercera hoja del ápice. En algunas plantas con semilla, los botones se inician en el meristemo apical siguiendo inmediatamente el comienzo de la hoja axilante, así que el botón se forma en continuidad con el meristemo apical. En muchas plantas con semilla, sin embargo, los botones axilares se inician tiempo después en el tejido meristemático derivado del meristemo apical. Estos grupos de células meristemáticas, las cuales permanecen especialmente asociadas con las hojas axilares, se llaman meristemas separados. En unos cuantos casos, los meristemas axilares surgen de la superficie adaxial del primordio de la hoja, aparentemente estos meristemas son de origen foliar. En las plantas se presenta el desarrollo de botones adventicios, los cuales surgen sin relación directa con el meristemo apical. Estos botones pueden desarrollarse en raíces, tallos, hipocótilos y hojas. Se originan en tejido celular de cortes o de heridas, en el cambium vascular o en la periferia del cilindro vascular. La epidermis puede producir botones adventicios; si surgen de tejidos maduros, su inicio incluye el fenómeno de dediferenciación (2 4, 8, 11, 17, 23 y 25).

## **Meristemas secundarios**

El crecimiento en grosor de tallos, ramas, raíces y a veces de los pecíolos y nervadura de las hojas, se llama crecimiento secundario; los tejidos originados se llaman tejidos secundarios que, en su conjunto, forman el cuerpo secundario de las plantas; estos tejidos

se desarrollan a partir de los meristemos secundarios que son el cambium vascular y el cambium suberoso o felógeno (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

## **Cambium vascular**

Es un meristemo lateral que produce tejido vascular secundario en tallos y raíces leñosos. Está integrado por dos tipos de cambium: a) cambium fascicular, que deriva de las células del procambium, localizado entre el xilema y el floema primarios y b) el cambium interfascicular, diferenciado a partir de células de parénquima que separan los haces vasculares. Estos dos tipos de cambium producen un cilindro continuo de tejido vascular secundario, xilema hacia adentro y floema hacia fuera, provocando el aumento en grosor de tallos y raíces, de dicotiledóneas leñosas y gimnospermas. En monocotiledóneas todas las células del meristemo primario llamado procambium, se diferencian dando origen a xilema y floema primarios (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

El cambium vascular persiste durante toda la vida de las plantas con crecimiento secundario, pero su actividad varía durante las estaciones del año de una planta a otra y dentro de la misma planta en sus distintas partes. En plantas perennes leñosas de regiones templadas, los periodos de crecimiento y reproducción alternan con periodos de inactividad relativa durante el invierno. La periodicidad estacional también se expresa en la actividad cambial. La producción de nuevas células por el cambium vascular disminuye o cesa completamente durante la dormancia. En la primavera, el periodo de dormancia es sucedido por la reactivación del cambium vascular. Una estacionalidad marcada también se



presenta en muchas regiones tropicales que experimentan severas estaciones de sequía anuales (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

No se ha definido con exactitud, si el cambium vascular está formado por una sola capa de células o por varias, pero si se han reconocido dos tipos de células, cuya proporción varía entre las especies: **Las iniciales fusiformes.** Son células relativamente grandes y alargadas con extremos agudos, originan un sistema axial formado por los elementos orientados longitudinalmente en un órgano, es decir paralelos al órgano donde se encuentran. Ejemplos de elementos de este sistema son las traqueidas, elementos del vaso, fibras, parénquima axial xilemático y floemático, elementos cribosos y fibras liberianas. **Las iniciales radiales.** Son células más cortas que las fusiformes e isodiamétricas, de ellas derivan las células parenquimáticas radiales del xilema y del floema (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

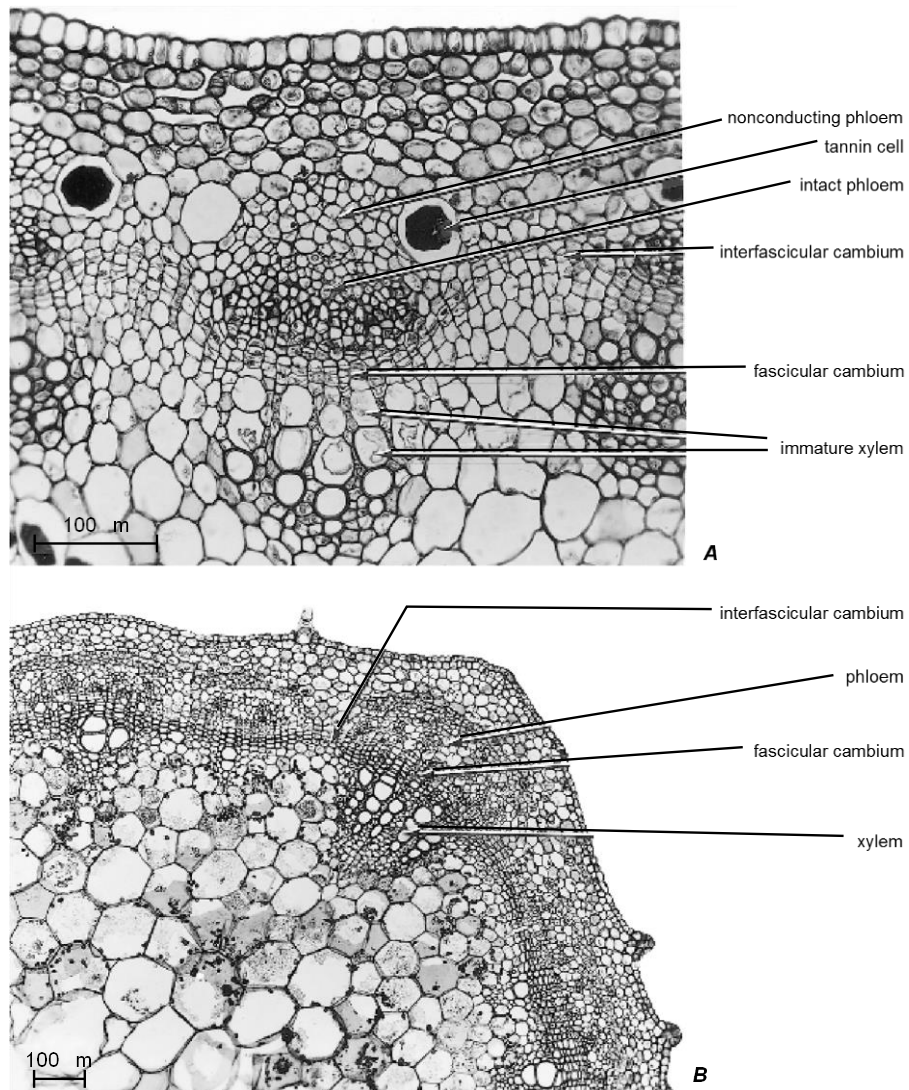
## **Cambium suberoso o felógeno**

Forma parte de la peridermis, la cual es una capa protectora, que reemplaza a la epidermis en tallos y raíces de plantas que presentan crecimiento secundario, como dicotiledóneas perennes y gimnospermas. La peridermis se desarrolla en superficies expuestas después de la abscisión de hojas y ramas de la planta. También se forma como capa protectora alrededor de tejidos dañados o muertos, como resultado de heridas mecánicas o invasión de parásitos. Las heridas inducen una serie de eventos metabólicos y respuestas citológicas relacionadas que permiten, bajo condiciones favorables, completar el cierre de la herida (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

Estructuralmente, la peridermis consta normalmente de tres capas: **Felógeno o cambium suberoso (Figura 17)**. Produce propiamente a la peridermis. De acuerdo a su origen, es un meristemo secundario y de acuerdo a su posición es un meristemo lateral. **Felema**. Comúnmente llamado corcho o súber, producido externamente por el felógeno. **Felodermis**. Tejido que con frecuencia asemeja al parénquima cortical o del floema, consiste de células derivadas internamente a partir del felógeno (2 4, 8, 11, 17, 23 y 25).

El felógeno es un tejido derivado de células que han sufrido diferenciación, dependiendo de su posición, las células implicadas con su origen pueden ser células de la epidermis, parénquima subepidérmico, colénquima y parénquima del periciclo o del floema. Histológicamente, el cambium suberoso es más sencillo que el cambium vascular, pues consiste de un solo tipo de células iniciales más o menos isodiamétricas, cuyo protoplasma contiene vacuolas y puede contener cloroplastos y taninos. El felógeno no deja espacios intercelulares, excepto en las lenticelas y presenta una periodicidad en su actividad. El periodo o periodos de actividad del felógeno y el cambium vascular pueden o no corresponder (2 4, 8, 11, 17, 23 y 25).

Una lenticela puede definirse como una parte limitada por la peridermis, en la cual el felógeno está más activo que en otra parte; en contraste con el felema, tiene numerosos espacios intercelulares, estructuras que permiten la entrada de aire a través de la peridermis. El tejido laxo formado por el felógeno de la lenticela hacia fuera, es tejido de relleno o complementario, y el tejido formado hacia adentro es la felodermis (2 4, 8, 11, 17, 23 y 25).



**Figura 17. Cambium fascicular y Cambium interfascicular (Esau, 1977).**

## **Fitohormonas en los meristemas**

En las células meristemáticas de ápices de tallos y raíces, principalmente en primordios de hojas jóvenes, se sintetiza el ácido-3-indolacético, principal auxina que se presenta naturalmente. Las auxinas proporcionan signos que coordinan multiplicidad de procesos de desarrollo a muchos niveles en el cuerpo de la planta. Están implicadas en la regulación de patrones de división celular, elongación y diferenciación, así como en muchos aspectos del desarrollo de las plantas, incluyendo la polaridad del eje raíz-tallo, establecida durante la embriogénesis, del gravitropismo, el fototropismo, igual que la organización y mantenimiento de los meristemas apicales (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

Las células meristemáticas de raíces son una rica fuente de citocininas, hormonas transportadas vía xilema desde la raíz hacia la parte aérea. Las citocininas, junto con las auxinas, promueven la división celular. Entre las funciones reguladoras de las citocininas está el disparo de la liberación de la dormancia de los botones laterales, actuando en contra de las auxinas (**Figura 18**), las cuales inhiben su crecimiento. Son uno de los transportadores de información sobre el estado nutricional, particularmente del nitrógeno en raíces y tallos; están implicadas en la primera respuesta de la raíz a la gravedad, además de que juegan un papel importante en la formación de tejido provascular durante la embriogénesis y en el control de la actividad meristemática y en crecimiento de órganos durante el desarrollo posembrionario. Las citocininas, por su parte, son promotoras del desarrollo de la parte aérea, e inhibitoras del desarrollo de raíces (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

Como ya fue mencionado, una característica del tejido meristemático es su totipotencia, lo cual se ha aprovechado en la propagación asexual de las plantas. Sin embargo, cada célula diploide que forma parte del cuerpo vegetal, es capaz de ser autónoma y tiene la facultad de ser totipotente, puesto que contiene toda la información genética que le permite, bajo ciertas condiciones, reproducir fielmente una planta completa. El desarrollo de un organismo adulto desde una célula (cigoto) es el resultado de la integración de división celular y diferenciación (2 4, 8, 11, 17, 23 y 25).

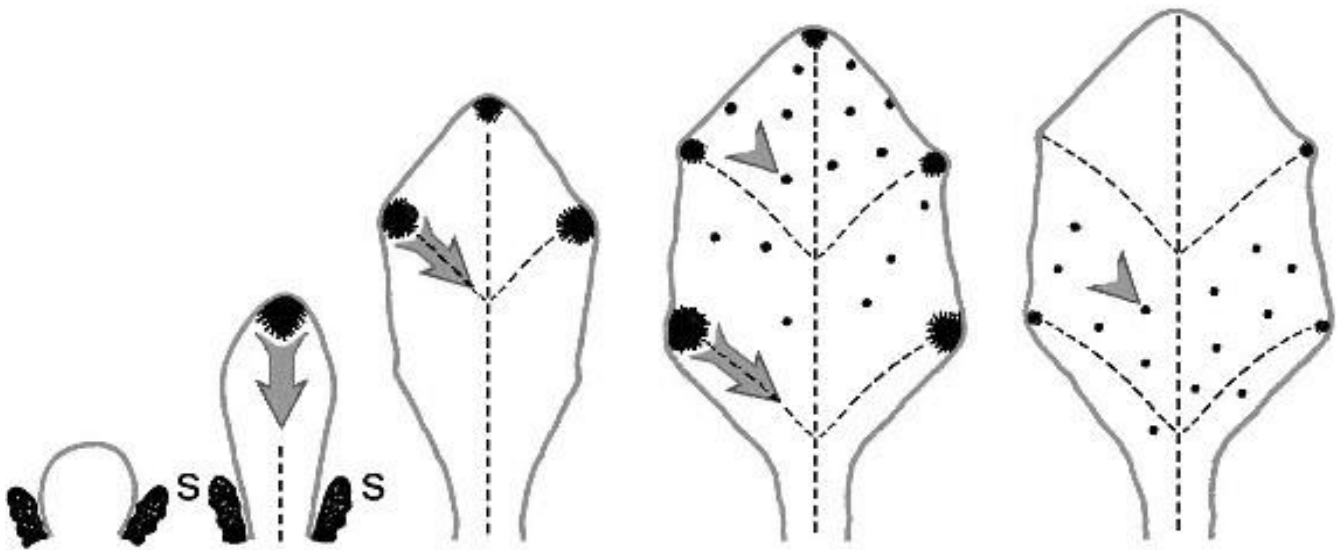
Las células aisladas desde un tejido diferenciado generalmente no se dividen y son quiescentes; para expresar totipotencia la célula diferenciada primero sufrirá desdiferenciación (reversión de una célula madura a un estado meristemático y formar un tejido caloso) y después rediferenciación (capacidad de una célula desdiferenciada para formar una planta completa o un órgano). Los meristemas adventicios son aquellos meristemas nuevos formados después de una desdiferenciación localizada, juegan un papel muy importante en la multiplicación vegetativa, la cual implica casi siempre la formación de nuevos meristemas (2 4, 8, 11, 17, 23 y 25).

El incremento en la demanda de plantas ornamentales, alimenticias o de otro tipo, ha favorecido el aumento de su propagación por reproducción asexual, para ello se han implementado varias técnicas, entre ellas el cultivo in vitro, injertos, estaquillado y acodos. La técnica de cultivo in vitro, consiste en general, en tomar un fragmento (explante) de tejido vegetal, colocarlo en un medio nutritivo y provocar el desarrollo de una plántula.

Esta técnica ha tenido un amplio uso para: la propagación de plantas económicamente importantes, obtención de plantas libres de patógenos, obtención de híbridos los cuales en forma natural no se formarían, conservación de germoplasma, cultivo de células y tejidos como fuente de metabolitos secundarios de uso medicinal o de otro tipo. En la actualidad, la tecnología está disponible en la industria para la producción comercial de compuestos químicos como shikonina, saponinas de Ginseng y berberidina (2, 4, 8, 11, 17, 23 y 25).

El cultivo de tejidos se puede hacer fácilmente utilizando células meristemáticas, tanto de ápice de raíz como de tallo, con ello se facilita la obtención de plantas libres de patógenos como virus (incluyendo viroides) micoplasmas, bacterias y hongos. Entre las células somáticas de las dicotiledóneas que se han utilizado como explantes en cultivos de tejidos están: células de entrenudos, mesófilo y pecíolos de hojas, médula, tubérculos, cotiledones, anteras; tejidos floemático, embrionarios (incluyendo el escutelo de los cereales, la nucela y el saco embrionario de los óvulos de plantas maduras), periciclo, endodermis, parénquima y epidermis; callo derivado del cambium de tallo o ápices de tallos injertados, los rayos medulares, el floema y elementos más jóvenes del xilema; inflorescencias jóvenes (antes de la maduración de primordio floral), raíces jóvenes e hipocótilo inmaduro. Las partes vegetativas en monocotiledóneas, a diferencia de las dicotiledóneas, no proliferan tan bien en cultivo de tejidos. Por lo tanto, se prefiere el uso de explantes tomados de tejidos embrionarios o de tejidos meristemáticos (inflorescencias jóvenes y hojas). En las principales especies de cereales y pastos de importancia económica, se ha alcanzado un éxito considerable en la obtención de plantas a partir de cultivos de tejidos embrionarios. Otra técnica para propagar asexualmente a las

plantas es el injerto, definido como la unión entre dos fragmentos vegetales: uno es el portainjerto que por medio de su sistema radical y eventualmente de una parte del tallo, suministra los elementos necesarios para el crecimiento de una nueva planta: el otro es el injerto quien aportará las características del vegetal a multiplicar (pie-madre). La soldadura entre el patrón y el injerto se realiza a nivel de las placas generatrices (meristemos secundarios) de las plantas en contacto, siendo indispensable hacerlos coincidir. La unión definitiva está asegurada por la proliferación de los cambium y el enlace de los tejidos floemáticos (que aseguran la conducción) y leñosos (tejidos de sostén). El injerto debe permitir la continuidad en la circulación de la savia (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).



**Figura 18. Cambios graduales en la concentración de las auxinas (Esau, 1977).**

## **Nota de interés**

Como ya fue mencionado, una característica del tejido meristemático es su totipotencia, lo cual se ha aprovechado en la propagación asexual de las plantas. Sin embargo, cada célula diploide que forma parte del cuerpo vegetal, es capaz de ser autónoma y tiene la facultad de ser totipotente, puesto que contiene toda la información genética que le permite, bajo ciertas condiciones, reproducir fielmente una planta completa. El desarrollo de un organismo adulto desde una célula (cigoto) es el resultado de la integración de división celular y diferenciación (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

Las células aisladas desde un tejido diferenciado generalmente no se dividen y son quiescentes; para expresar totipotencia la célula diferenciada primero sufrirá desdiferenciación (reversión de una célula madura a un estado meristemático y formar un tejido calloso) y después rediferenciación (capacidad de una célula desdiferenciada para formar una planta completa o un órgano). Los meristemas adventicios son aquellos meristemas nuevos formados después de una desdiferenciación localizada, juegan un papel muy importante en la multiplicación vegetativa, la cual implica casi siempre la formación de nuevos meristemas (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

El incremento en la demanda de plantas ornamentales, alimenticias o de otro tipo, ha favorecido el aumento de su propagación por reproducción asexual, para ello se han implementado varias técnicas, entre ellas el cultivo in vitro, injertos, estaquillado y acodos. La técnica de cultivo in vitro, consiste en general, en tomar un fragmento (explante) de tejido vegetal, colocarlo en un medio nutritivo y provocar el desarrollo de una plántula.

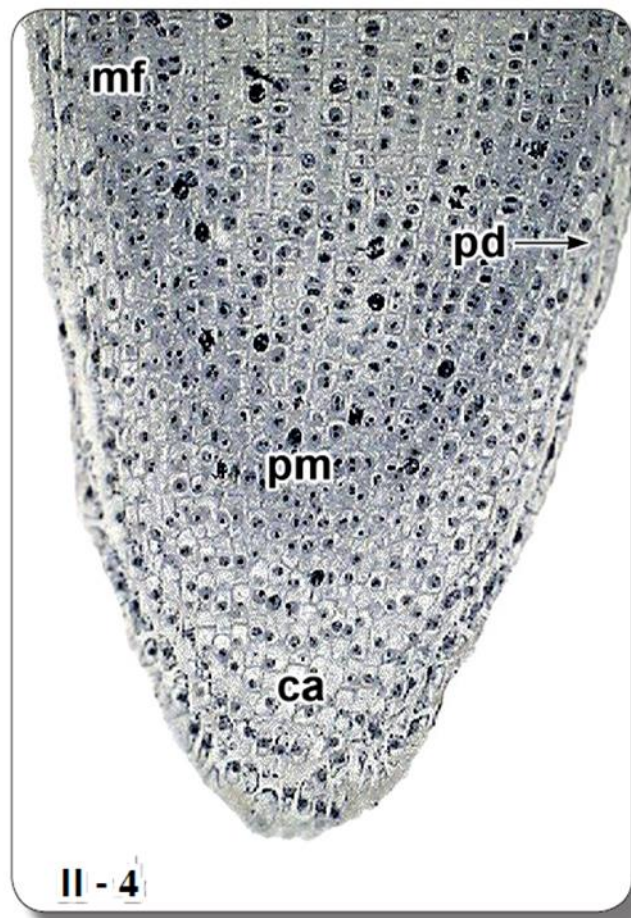


Esta técnica ha tenido un amplio uso para: la propagación de plantas económicamente importantes, obtención de plantas libres de patógenos, obtención de híbridos los cuales en forma natural no se formarían, conservación de germoplasma, cultivo de células y tejidos como fuente de metabolitos secundarios de uso medicinal o de otro tipo. En la actualidad, la tecnología está disponible en la industria para la producción comercial de compuestos químicos como shikonina, saponinas de Ginseng y berberidina. El cultivo de tejidos se puede hacer fácilmente utilizando células meristemáticas, tanto de ápice de raíz como de tallo, con ello se facilita la obtención de plantas libres de patógenos como virus (incluyendo viroides) micoplasmas, bacterias y hongos. Entre las células somáticas de las dicotiledóneas que se han utilizado como explantes en cultivos de tejidos están: células de entrenudos, mesófilo y pecíolos de hojas, médula, tubérculos, cotiledones, anteras; tejidos floemático, embrionarios (incluyendo el escutelo de los cereales, la nucela y el saco embrionario de los óvulos de plantas maduras), periciclo, endodermis, parénquima y epidermis; callo derivado del cambium de tallo o ápices de tallos injertados, los rayos medulares, el floema y elementos mas jóvenes del xilema; inflorescencias jóvenes (antes de la maduración de primordio floral), raíces jóvenes e hipocótilo inmaduro (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

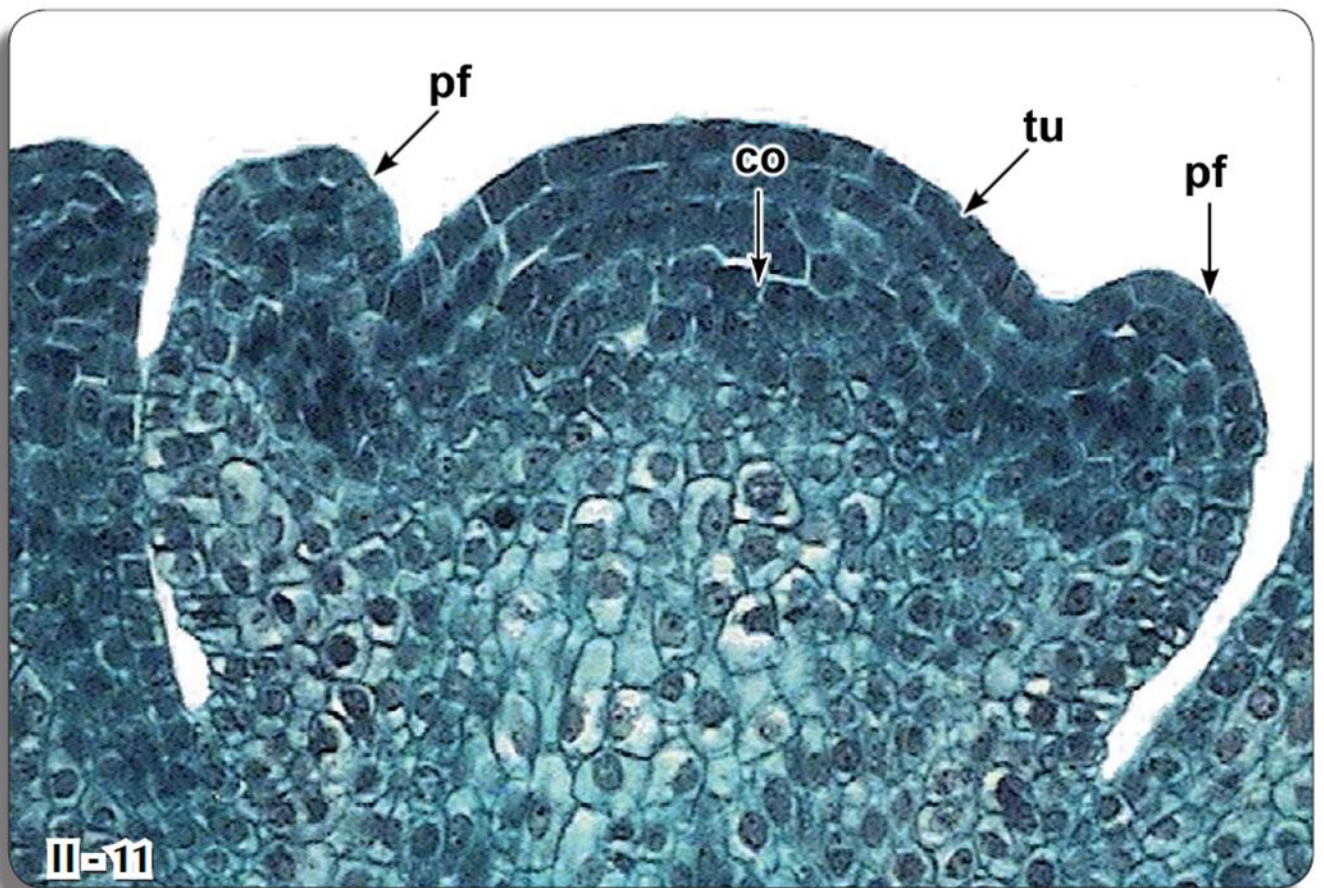
Las partes vegetativas en monocotiledóneas, a diferencia de las dicotiledóneas, no proliferan tan bien en cultivo de tejidos. Por lo tanto, se prefiere el uso de explantes tomados de tejidos embrionarios o de tejidos meristemáticos (inflorescencias jóvenes y hojas). En las principales especies de cereales y pastos de importancia económica, se ha

alcanzado un éxito considerable en la obtención de plantas a partir de cultivos de tejidos embrionarios (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

Otra técnica para propagar asexualmente a las plantas es el injerto, definido como la unión entre dos fragmentos vegetales: uno es el portainjerto que por medio de su sistema radical y eventualmente de una parte del tallo, suministra los elementos necesarios para el crecimiento de una nueva planta: el otro es el injerto quien aportará las características del vegetal a multiplicar (pie-madre). La soldadura entre el patrón y el injerto se realiza a nivel de las placas generatrices (meristemas secundarios) de las plantas en contacto, siendo indispensable hacerlos coincidir. La unión definitiva está asegurada por la proliferación de los cambium y el enlace de los tejidos floemáticos (que aseguran la conducción) y leñosos (tejidos de sostén). El injerto debe permitir la continuidad en la circulación de la savia (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).



**Figura 19. *Allium cepa*. Monocotyledoneae. Sección longitudinal 200x. Caliptra (ca), meristemo apical: meristemo fundamental (mf), promeristemo (pm), protodermis (pd).**



**Figura 20. Amaranthus hybridus. Dicotyledoneae. Sección longitudinal 400x. Meristemo apical: corpus (co), primordios foliares (pf), túnica (tu). Fuente: (Azacarraga y et al, 2010)**

**Actividad a desarrollar por el alumno (Mersitemos).**

- ✓ Observa y dibuja 7 laminillas de meristemos de diferentes plantas
- ✓ Indica los tipos de meristemos que distingues en las laminillas

### III. EPIDERMIS

En esta unidad está estructurada de la siguiente manera:

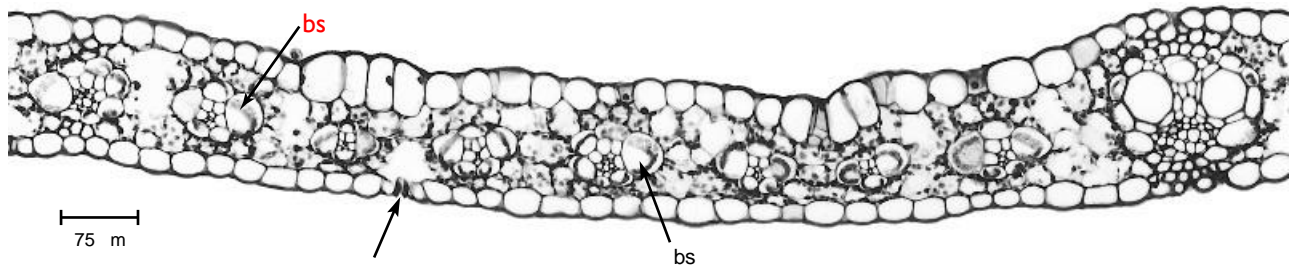
- Resumen de la unidad
- Tipos celulares que forman ala epidermis
- Origen
- Estructura
- Formas de reconocimiento de los órganos vegetales
- Notas de interés
- Actividades para el alumno

Esta Unidad de mersitemos esta relacionda con la Unidad III del programa de Anatomia de plantas Cultivadas

#### Resumen

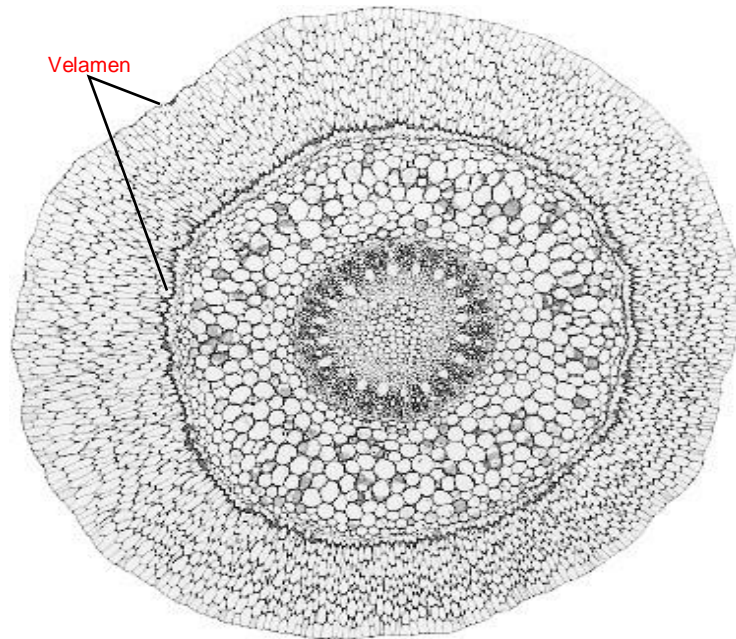
Con el término epidermis se designa la capa de células más externa del cuerpo primario de la planta que se encuentra en contacto directo con el medio ambiente. Este sistema superficial de células varía en composición, función y origen, por consiguiente, no es posible una definición específica. Se usa el término epidermis en un amplio sentido morfológico para designar a la capa superficial de células de todas las partes del cuerpo primario de la planta: tallos, raíces, hojas, flores, frutos y semillas. Se considera ausente en la caliptra y no diferenciada como tal en los meristemas apicales. La epidermis de la raíz

difiere de la del brote en origen, función y estructura, por lo que recibe el nombre de rizodermis o epiblema, aunque en el sentido amplio se puede designar como epidermis. También existe una epidermis pluriestratificada en las orquídeas (Velamen). Las funciones normales y comunes de la epidermis de las partes aéreas de la planta son: limitación de la transpiración, soporte y protección mecánica, intercambio gaseoso, almacén de agua y productos metabólicos. Algunas funciones accesorias son las siguientes: fotosíntesis, secreción, absorción y posiblemente percepción de estímulos, así como asociación con movimientos circadianos, y de igual manera con la inducción de fotoperiodo.



---

**Figura 21. Hoja de maíz con vaina alrededor de los haces vasculares. bs (vaina de parnquima) (Esau, 1977).**



---

**Figura 22. Velamen en la raíz de una orquídea (Esau, 1977).**



## Origen y duración

La epidermis del brote se origina a partir de la capa de células más externa del meristemo apical, denominado dermatógeno. El término protodermis se aplica a la epidermis fundamental y se emplea para designar a la epidermis indiferenciada. La duración de la epidermis es variable, en las formas herbáceas permanece durante toda la vida de la planta, en las arborescentes, suele ser reemplazada por la peridermis en tallos y raíces. Asimismo, algunas monocotiledóneas suelen formar peridermis (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

## Características celulares

En relación con la multiplicidad de funciones, la epidermis contiene diversos tipos celulares, la mayor parte del tejido está formado por células epidérmicas propiamente dichas, las cuales pueden ser consideradas como los elementos menos especializados del sistema, y que constituyen la masa fundamental del tejido (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

Dispersas entre éstas, se encuentran las células oclusivas de los estomas y, en ocasiones, células anexas. Se presentan también tricomas y principalmente en monocotiledóneas células buliformes, células silíceas y células de corcho; por su parte, en la epidermis de la raíz se observan tricomas radicales (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

Las células epidérmicas maduras se describen como células de forma tubular debido a su pequeña extensión en profundidad, a excepción de las células epidérmicas en empalizada que cubren la semilla. Vistas de frente, las células epidérmicas pueden ser casi isodiamétricas o bien alargadas. Su forma está relacionada con el órgano al que cubren; las

células alargadas se encuentran a menudo sobre estructuras también alargadas, como tallos, pecíolos, venas foliares y hojas (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

Las células epidérmicas suelen tener un protoplasto vivo y pueden almacenar diversos productos del metabolismo. Con frecuencia contienen plastidios con pocas granas y carecen de cloroplastos, sin embargo, las plantas que crecen en la sombra como son las de sotobosque en los trópicos, suelen tener cloroplastos activos que captan la limitada luz que llega a este estrato. Los plastidios epidérmicos pueden contener cristales proteicos o de almidón; las vacuolas pueden almacenar antocianinas sobre todo en piezas florales y frutos (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

Las células epidérmicas retienen su habilidad para dividirse, incluso las células guardianas pueden desdiferenciarse y reasumir funciones meristemáticas, esto permite el crecimiento de la planta y la reparación de lesiones. En la epidermis, la pared celular varía en las células de la misma planta de acuerdo al órgano que pertenezcan. Su engrosamiento es irregular, desde paredes delgadas hasta algunas que casi llegan a obliterar la cavidad celular; probablemente éstas sean paredes secundarias (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

En cubiertas de semillas y en escamas, las células epidérmicas se encuentran diferenciadas en esclereidas. Las células de la epidermis presentan frecuentemente campos de puntuaciones primarias en sus paredes radiales y tangenciales internas, la pared externa puede tener zonas más delgadas que recuerdan los campos de puntuaciones en donde se presentan ectodesmos, aunque los ectodesmos no atraviesan la cutícula merecen atención por ser el camino para las sustancias que se depositan en la cutícula o se eliminan a través de ella (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

La pared externa de las células epidérmicas, está cubierta de materiales cerosos que son mezclas complejas de hidrocarburos de cadena larga; debajo de esta cera epicuticular hay una capa de cutícula, parcialmente impermeable, formada por cutina que es un polímero heterogéneo de ácidos grasos hidroxilados de cadena larga y microfibrillas de polisacáridos y ceras. Continúa a la cutícula una capa de sustancias pécticas que se comunica con la lámina media (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

La cutícula varía sensiblemente de espesor en las distintas especies, ya que las condiciones ambientales y otros factores influyen sobre su desarrollo. La superficie de la cutícula puede ser lisa, o presentar varias protrusiones, pliegues o grietas. El origen del complicado relieve de la cutícula en las paredes de los verticilos florales se ha atribuido al crecimiento celular (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

Las funciones más importantes de la cutícula y ceras epicuticulares son: reducción de la pérdida de agua y solutos apoplásticos, formación de una barrera mecánica que dificulta la penetración de hifas fungales, disminución de herbivoría, protección contra daño mecánico, reflexión y atenuación de la radiación, actuación como un compartimento de acumulación para compuestos lipofílicos. La cutícula no sólo restringe la pérdida de vapor de agua, sino la entrada de CO<sub>2</sub>, esencial para la nutrición orgánica. Los estomas resuelven este problema, al funcionar en el intercambio físico activo entre el sistema aéreo de la planta y su hábitat (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

En la epidermis de las partes aéreas de las plantas también se pueden encontrar depósitos superficiales de resina, sílice, aceites y sales en forma cristalina. Otra sustancia que se puede acumular en la pared celular es la lignina, aparece rara vez en las paredes

epidérmicas, pero está presente en especies de hojas coriáceas. Algunas especies presentan modificaciones mucilaginosas de las paredes celulares (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

Algunas células epidérmicas se desvían de la forma común, gramíneas, gimnospermas o dicotiledóneas pueden presentar células epidérmicas en forma de fibras. En crucíferas suele haber células secretoras en forma de saco, células de mirosina, en moráceas y urticáceas, las células epidérmicas se pueden diferenciar en litocistes, que son células especializadas que contienen cistolitos. En ocasiones toda la epidermis consta de células especializadas, así en ciertas escamas y semillas, la epidermis es una capa compacta de esclereidas (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

En gramíneas, la epidermis típica contiene células largas y dos tipos de células cortas, células silíceas y células suberosas. Las células cortas se presentan frecuentemente por pares. Las silíceas están casi completamente llenas de  $\text{SiO}_2$  que se solidifica en cuerpos de formas variadas. Las células suberosas tienen sus paredes suberificadas y a menudo contienen material orgánico sólido. Estas células también pueden contener altas concentraciones de sales. Algunas células cortas forman protrusiones por encima de la superficie de la hoja en forma de papilas, cerdas, espinas o pelos (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

Las gramíneas y otras monocotiledóneas poseen además otro tipo peculiar de células epidérmicas, las células buliformes. Estas células grandes, de pared delgada y numerosas vacuolas, son frecuentes en muchos órdenes de monocotiledóneas. Se disponen recubriendo toda la superficie del limbo foliar o bien reduciéndose a surcos entre las venas (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

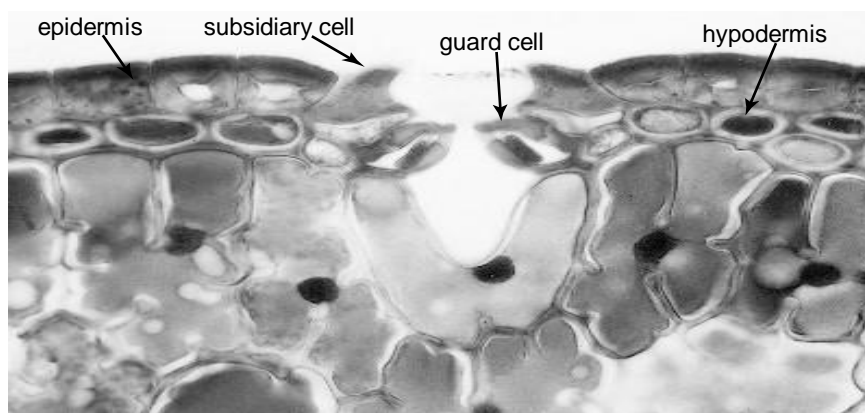
Las células buliformes pueden presentarse a ambos lados de la hoja, además no están restringidas a la epidermis, ya que a veces aparecen además células similares en el mesofilo. Contienen pocas sustancias sólidas, son principalmente células acuíferas con escasa o ninguna clorofila, rara vez contienen taninos y cristales. Se considera que las células buliformes intervienen en el despliegue de las hojas en crecimiento y, por cambios de turgencia, en los movimientos higroscópicos de abertura y cierre de las hojas adultas, aunque la última propuesta no está comprobada (2, 4, 8, 11, 17, 23 y 25).

**Epidermis pluriestratificada** Algunas plantas presentan una o más capas de células situadas por debajo de la epidermis en hojas, tallo y raíces. Dichas capas celulares, pueden ser morfológica y fisiológicamente iguales o distintas del tejido fundamental más profundo, según su origen, ya sea que hayan derivado del tejido fundamental o de la protodermis. El reconocimiento de esta última posibilidad, ha movido a los investigadores a separar la hipodermis originada por el tejido fundamental, de las capas subsuperficiales de origen protodérmico, introduciendo el concepto de epidermis múltiple o pluriestratificada. El estudio de las estructuras adultas rara vez permite la identificación del tejido como epidermis múltiple o como combinación de epidermis e hipodermis. El origen de las capas subsuperficiales sólo puede ponerse de manifiesto mediante el estudio de su desarrollo. La capa más externa de una epidermis pluriestratificada recuerda la epidermis uniestratificada ordinaria provista de cutícula. Las capas más internas están comúnmente diferenciadas como tejido acuífero carente de clorofila. La epidermis múltiple varía de espesor entre 2 y 16 capas de células (2, 4, 8, 11, 17, 23 y 25). A veces sólo determinadas células de la epidermis experimentan divisiones periclinales. El velamen de las raíces aéreas y terrestres

de las orquídeas es también una epidermis pluriestratificada o rizodermis múltiple (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

## Estomas

Los estomas (**Figura 23**) son grupos de células especializadas entre las células típicas de la epidermis. Los forman principalmente las denominadas células guardianas u oclusivas y un espacio o poro que se forma entre ellas: el ostiolo. Es conveniente aplicar el término estoma a la unidad completa: el poro u ostiolo y las dos células oclusivas. El estoma puede estar rodeado por células que no difieren de las células epidérmicas típicas o por células diferentes, estructural y fisiológicamente asociadas al estoma, que reciben el nombre de células subsidiarias o anexas; en su conjunto, células oclusivas y subsidiarias constituyen el complejo estomático. La abertura o poro se continúa internamente con una cámara subestomática, la cual se extiende hasta el espacio intercelular del mesófilo (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).



---

**Figura 23. Estoma y sus partes (Esau, 1977).**

En los estomas, las células guardianas u oclusivas se encuentran contiguas por pares, una frente a otra. Presentan engrosamiento diferencial de su pared celular, así como micelación radial conformada de microfibrillas de celulosa, dispuestas en las paredes de forma que la pared interna, la próxima al poro, es menos elástica en sentido longitudinal, que la pared externa, carácter que se acentúa, ya que con frecuencia la pared interna es de mayor grosor que la pared externa. Las células oclusivas contienen un núcleo prominente y cloroplastos pequeños, de diferente morfología que los de las células del mesófilo y en menor proporción en comparación con éstas. Asimismo, las células oclusivas no están comunicadas con sus células adyacentes por medio de plasmodesmos. En dicotiledóneas, las células oclusivas son generalmente de forma arriñonada en vista paradermal, con engrosamientos cutinizados de la pared en los bordes externo e interno, el borde externo delimita la cavidad frontal situada por encima del poro del estoma y el interno cierra la cavidad posterior que queda entre el poro y la cámara subestomática. Las células oclusivas tienen un núcleo prominente y cloroplastos que periódicamente acumulan almidón. Los cloroplastos tienen una respuesta específica a la luz azul que estimula la apertura estomática (2 4, 8, 11, 17, 23 y 25).

En monocotiledóneas, hay grandes variaciones en la morfología de las células oclusivas, no obstante, las gramíneas tienen un tipo bastante consistente. En vista paradermal, las células son angostas en su porción media, y anchas en los extremos. Los protoplastos de estas células se interconectan mediante plasmodesmos en los extremos bulbosos, de modo que constituyen una unidad fisiológica y funcional. La pared celular de las células oclusivas es muy gruesa y existe un borde cuticular largo en la abertura externa del poro, y uno

pequeño en la interna. Además, hay pequeñas proyecciones de pared y cutícula en la pared que circunda al poro (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

En las gimnospermas, los estomas suelen estar hundidos y con frecuencia parecen estar suspendidos de las células subsidiarias que se arquean sobre ellos. Las paredes de las células guardianas y las subsidiarias están parcialmente lignificadas, excepto en el área de pared que rodea el poro. La apertura estomática es regulada por cambios en la presión de turgencia, tanto de las células oclusivas como de las células epidérmicas adyacentes. Cuando aumenta la turgencia y volumen celular de las células oclusivas, su pared externa se alarga más que la pared interna y la célula adquiere forma de arco, por lo que se presenta el poro u ostiolo; cuando disminuye la turgencia, las células oclusivas adoptan una forma más o menos recta por lo que el poro desaparece (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

Las células acompañantes poseen una ventaja mecánica sobre las oclusivas, de modo que, a iguales aumentos de presión, células oclusivas y acompañantes provocan el cierre estomático. La función más conspicua de los estomas es la regulación de la pérdida de vapor de agua y el ingreso de CO<sub>2</sub> relacionado con transpiración y fotosíntesis, sin embargo, la función estomática esencial es el mantenimiento de la homeostasis de la planta (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

Los estomas son frecuentes en las partes verdes aéreas de las plantas, particularmente en hojas y tallos; por lo general las raíces y partes aéreas de algunas plantas terrestres desprovistas de clorofila no presentan estomas, pero los rizomas sí los poseen. Los pétalos tienen a menudo estomas, a veces no funcionales, también se encuentran en estambres y gineceo. En hojas verdes se pueden presentar en ambas caras, hoja



anfistomática o en una sola, ya sea la superior, hoja epistomática, o de modo más general, en la inferior, hoja hipostomática. Finalmente, también se encuentran en algunas plantas acuáticas sumergidas (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

La frecuencia estomática varía en diferentes partes de una planta y en hojas de una misma planta, hecho influido por condiciones ambientales. La posición sobre la superficie también es variable, pueden encontrarse hundidos, al mismo nivel de las otras células, o proyectarse hacia el exterior. En algunas plantas, los estomas están reducidos a la epidermis que recubre ciertas depresiones de las hojas, denominadas criptas estomáticas. Los pelos epidérmicos pueden estar también muy desarrollados en tales criptas (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

## **Clasificación de estomas**

La clasificación de los estomas (**Figura 24 y 25**) está basada en la relación que existe entre el estoma y sus células anexas o subsidiarias; y pueden presentarse los siguientes tipos (2 4, 8, 11,17, 23 y 25):

En gimnospermas se establecen dos tipos de complejos estomáticos (2 4, 8, 11,17, 23 y 25):

**Haploquílico**, el meristemo produce sólo células oclusivas.

**Sindetoquílico**, el meristemo produce células oclusivas y subsidiarias.

En las dicotiledóneas se presentan los tipos:

**Anomocítico** (ranunculáceo), no tiene células subsidiarias.

**Anisocíto** (crucífero), usualmente tres células subsidiarias rodean el estoma, una de menor tamaño que las otras dos.

**Paracítico** (rubiáceo), el estoma está rodeado de dos células subsidiarias. El eje longitudinal de éstas es paralelo a los ejes longitudinales de las células oclusivas.

**Diacítico** (cariofiláceo), las células subsidiarias son dos y sus paredes están unidas de forma perpendicular al eje longitudinal de las células oclusivas.

**Actinocítico**, existen varias células subsidiarias, con un eje mayor perpendicular al contorno de las células oclusivas.

**Ciclocítico**, existen varias células subsidiarias formando uno o dos anillos alrededor de las células oclusivas.

En monocotiledóneas se han descrito cuatro clases de complejos estomáticos (2 4, 8, 11, 17, 23 y 25):

Células oclusivas rodeadas por cuatro a seis células subsidiarias. Presentes en especies de las aráceas y commelináceas.

Células oclusivas rodeadas por cuatro a seis células subsidiarias, dos células redondeadas menores que las otras cuatro. Presentes en especies de la arecáceas.

Células oclusivas acompañadas por dos células subsidiarias laterales. Presentes en especies de las juncáceas y gramíneas.

Células oclusivas no acompañadas por células subsidiarias. Presentes en especies de las Iridáceas y Orquidáceas.

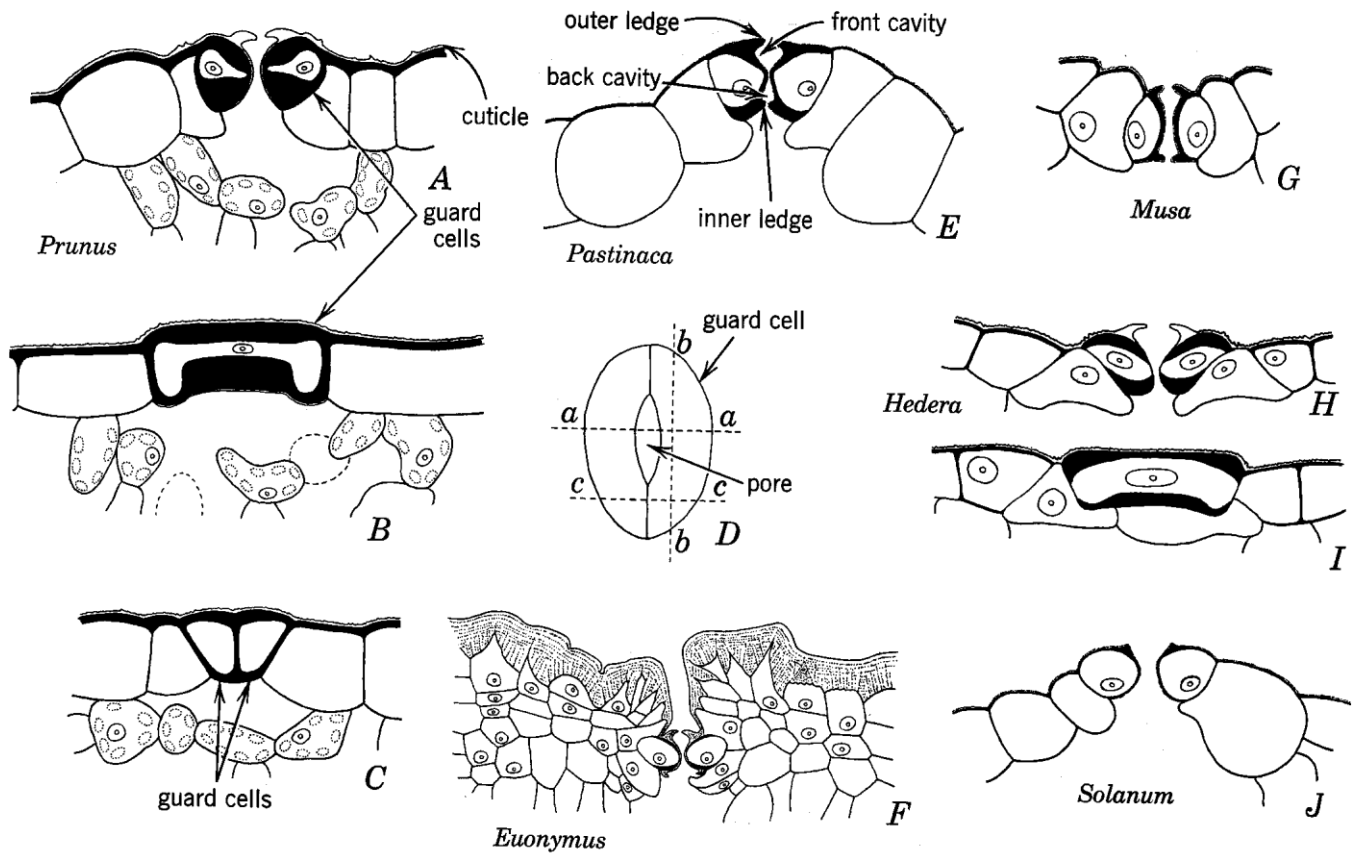
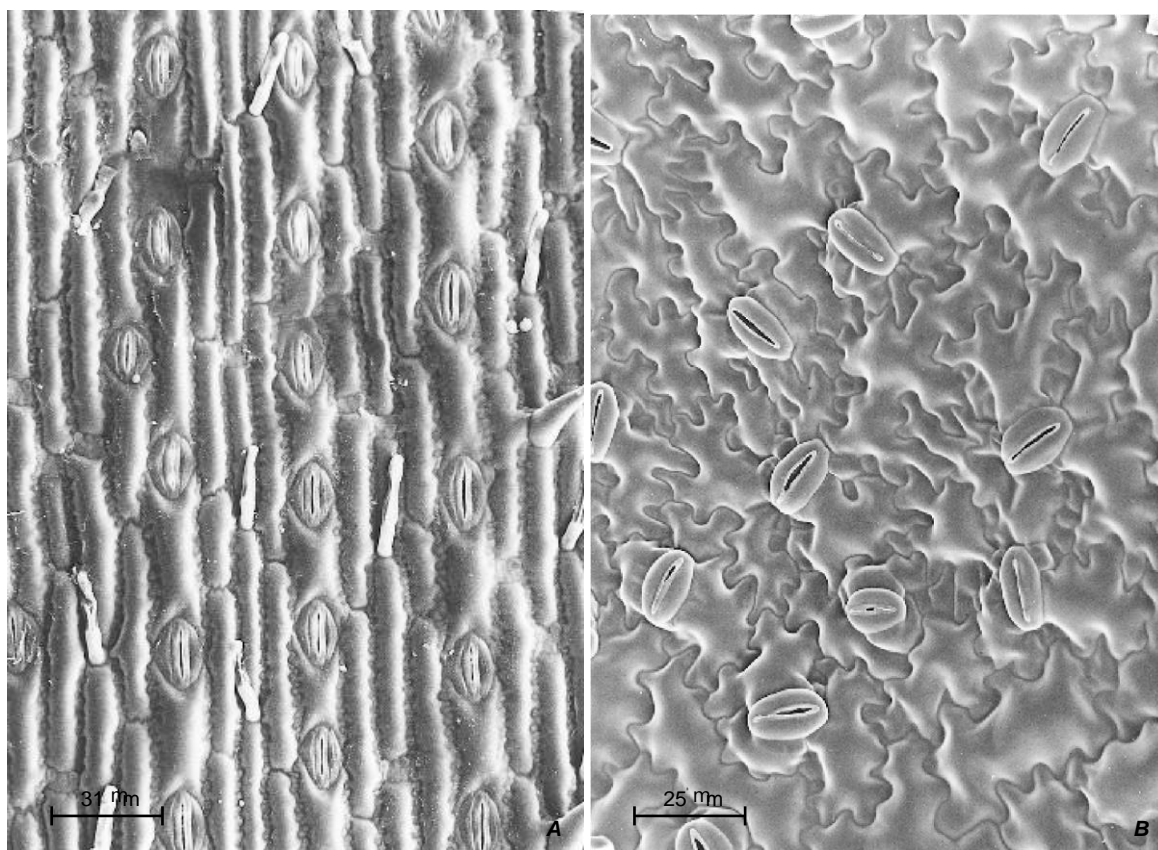


Figura 24. Tipos de estomas (Esau, 1977).



---

**Figura 25. Arreglos de estomas en hojas de maiz y de papa (Esau, 1977).**

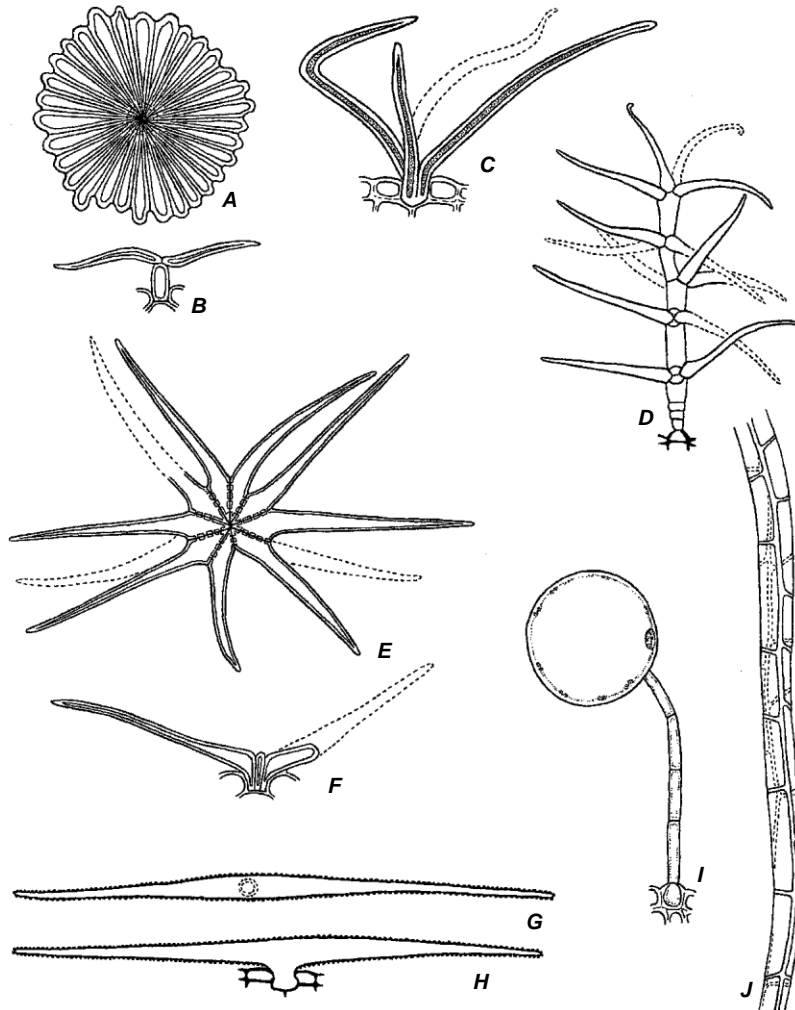
## Tricomas

Los tricomas (**Figura 26**) son apéndices epidérmicos de forma, estructura y funciones diversas, están representados por pelos glandulares o no glandulares, protectores y de sostén, por escamas, por papilas diversas y por pelos absorbentes de las raíces. Pueden presentarse en todas las partes de la planta, pudiendo persistir durante toda la vida de un órgano o ser efímeros. Algunos pelos permanecen vivos; otros pierden el protoplasma y quedan secos. Los tricomas se distinguen usualmente de las llamadas emergencias (espinas), ya que éstas están formadas por tejido epidérmico y subepidérmico (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

Los tricomas pueden clasificarse en diferentes categorías morfológicas. Un tipo muy frecuente es el denominado pelo; estructuralmente, pueden subdividirse en unicelulares y pluricelulares. Los unicelulares pueden ser ramificados; los pelos pluricelulares pueden constar de una simple fila de células o tener ramificación dendroide; otros más tienen las ramas más o menos dispuestas en un plano: pelos estrellados. Normalmente, los pelos pluricelulares constan de un pie rodeado por células de la epidermis y del cuerpo proyectado hacia fuera. Otro tipo común de tricomas son los pelos escamosos, provistos de escudo. Pueden ser sésiles y se les llaman escamas, o bien pueden ser pedunculados y reciben el nombre de pelos peltados. Los pelos o tricomas epidérmicos unicelulares, pluricelulares y peltados pueden ser también glandulares. Algunos de los pelos pluricelulares glandulares simples pueden constar de un pedúnculo y de una cabeza unicelular o pluricelular, la cabeza constituye la parte secretora del pelo. En un tricoma peltado glandular la lámina discoidal consta de células glandulares. Algunos tricomas

glandulares constan de una masa pluricelular cubierta por una capa en forma de empalizada de células secretoras (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

La pared celular de los tricomas es comúnmente de celulosa cubierta por una cutícula, que también puede estar lignificada. Los pelos producen a veces paredes secundarias gruesas. Las paredes de los tricomas se hallan a veces impregnadas de sílice y carbonato de calcio. El contenido de los tricomas varía en relación a su función; los más complejos son probablemente los provistos de células glandulares. Las funciones de los tricomas foliares y caulinares son variadas. Algunas como la actividad excretora de las glándulas de la sal en las halófitas, la capacidad secretora de los pelos digestivos en especies carnívoras, secretores de néctares y la cualidad aislante y reflectora de la luz, típica del indumento de ciertos cactus y xerófitas. Los tricomas glandulares pueden contener o secretar metabolitos secundarios con actividad biológica, implicados en los mecanismos de defensa y protección de la planta (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).



**Figura 26. Tipos de tricomas (Esau, 1977).**

## **Domáceas**

Las domáceas son depresiones, criptas, sáculos o penachos de tricomas ubicados en las axilas de las venas primarias, secundarias o terciarias en la superficie abaxial de la hoja; son comunes en dicotiledóneas y raras en monocotiledóneas (2 4, 8, 11, 17, 23 y 25).

## **Pelos radicales**

Los pelos radicales son estructuras tubulosas que resultan de expansiones laterales de las mismas células epidérmicas que los originan. Presentan numerosas vacuolas y núcleo. Rara vez son ramificados. Los pelos radicales son típicos de las raíces, pero bajo ciertas condiciones pueden desarrollarse también en otras partes de la planta. Las células epidérmicas desprovistas de pelos absorben agua con una velocidad comparable a la de las células que forman los pelos radicales, por lo que las funciones principales de los pelos radicales, es el aumento de la superficie de absorción de la raíz, enlazando fuentes de nutrientes y aguas laterales, el intercambio gaseoso y participar en la interacción planta-bacterias nitrificantes. Los pelos radicales viven poco, su longevidad se mide en días; los pelos viejos colapsan y las paredes de las células epidérmicas se suberifican y lignifican. En algunas especies vegetales se han observado pelos radicales persistentes; en tal caso adquieren paredes celulares gruesas y es probable que carezcan de poder absorbente (2 4, 8, 11, 17, 23 y 25).



El alimento debe ser fuente de bienestar, protección, confort y deseo de vivir. La ciencia moderna manifiesta que no existe valor paralelo en la alimentación que el consumo de vegetales, ya que son el mejor recurso de productos para nuestro cuerpo. Constituyen la principal fuente de energía por su producción de carbohidratos, aceites o grasas, así como fuente de proteínas; todos ellos productos necesarios en la síntesis de nuestros tejidos. Los vegetales, además de ser deliciosos, controlan las toxinas incorporadas del medio ambiente; son excelentes productores de metabolitos, algunos de ellos con propiedades antibióticas que intervienen en el control de enfermedades, otros en el control del dolor, ansiedad y desordenes neurológicos; algunos más, intervienen en la prevención o combate de cáncer por su producción de antioxidantes u otros compuestos químicos relacionados con el combate o prevención del mismo (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

En general, los productos vegetales tienen una alta digestibilidad y óptimo aprovechamiento por el organismo, previniendo enfermedades degenerativas o asociadas a una alimentación inadecuada. Actualmente, y con el desarrollo de la ciencia, todavía no se han logrado sintetizar muchas de las moléculas formadas por células vegetales, cuyos beneficios son obtenidos a partir del consumo de sus productos (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

El tejido epidérmico, además de constituir parte importante de la protección de la planta, es fuente de diversos productos de importancia económica, entre los que encontramos al algodón, fibra con nueve mil años de uso en México, que deriva de la elongación de la células epidérmicas del ovario de *Gossypium hirsutum* (algodón). La epidermis de algunas especies de magueyes (*Agave spp.*), se utilizan en la preparación de mixiotes; alimento

tradicional en diferentes regiones del país, así como para la elaboración de flores(2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

De la epidermis de *Euphorbia antisiphylitica* se extrae la denominada cera de candelilla, con múltiples usos. En medicina tradicional es conocido que la epidermis extraída de las hojas catáfilas del bulbo de la cebolla (*Allium cepa*), colocadas sobre una herida reciente, intervienen en la coagulación disminuyendo el sangrado. En algunas regiones rurales del país, generalmente en precarias condiciones económicas, muchas hojas con epidermis ásperas se utilizan para tallar utensilios y lograr su limpieza (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

## **Nota de interés**

El alimento debe ser fuente de bienestar, protección, confort y deseo de vivir. La ciencia moderna manifiesta que no existe valor paralelo en la alimentación que el consumo de vegetales, ya que son el mejor recurso de productos para nuestro cuerpo. Constituyen la principal fuente de energía por su producción de carbohidratos, aceites o grasas, así como fuente de proteínas; todos ellos productos necesarios en la síntesis de nuestros tejidos. Los vegetales, además de ser deliciosos, controlan las toxinas incorporadas del medio ambiente; son excelentes productores de metabolitos, algunos de ellos con propiedades antibióticas que intervienen en el control de enfermedades, otros en el control del dolor, ansiedad y desordenes neurológicos; algunos más, intervienen en la prevención o combate de cáncer por su producción de antioxidantes u otros compuestos químicos relacionados con el combate o prevención del mismo (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

En general, los productos vegetales tienen una alta digestibilidad y óptimo aprovechamiento por el organismo, previniendo enfermedades degenerativas o asociadas a una alimentación inadecuada. Actualmente, y con el desarrollo de la ciencia, todavía no se han logrado sintetizar muchas de las moléculas formadas por células vegetales, cuyos beneficios son obtenidos a partir del consumo de sus productos. El tejido epidérmico, además de constituir parte importante de la protección de la planta, es fuente de diversos productos de importancia económica, entre los que encontramos al algodón, fibra con nueve mil años de uso en México, que deriva de la elongación de la células epidérmicas del ovario de *Gossypium hirsutum* (algodón). La epidermis de algunas especies de magueyes (*Agave* spp.), se utilizan en la preparación de mixiotes; alimento tradicional en diferentes regiones del país, así como para la elaboración de flores. De la epidermis de *Euphorbia antisiphylitica* se extrae la denominada cera de candelilla, con múltiples usos. En medicina tradicional es conocido que la epidermis extraída de las hojas catáfilas del bulbo de la cebolla (*Allium cepa*), colocadas sobre una herida reciente, intervienen en la coagulación disminuyendo el sangrado. En algunas regiones rurales del país, generalmente en precarias condiciones económicas, muchas hojas con epidermis ásperas se utilizan para tallar utensilios y lograr su limpieza (2 4, 8, 11, 17, 23 y 25).

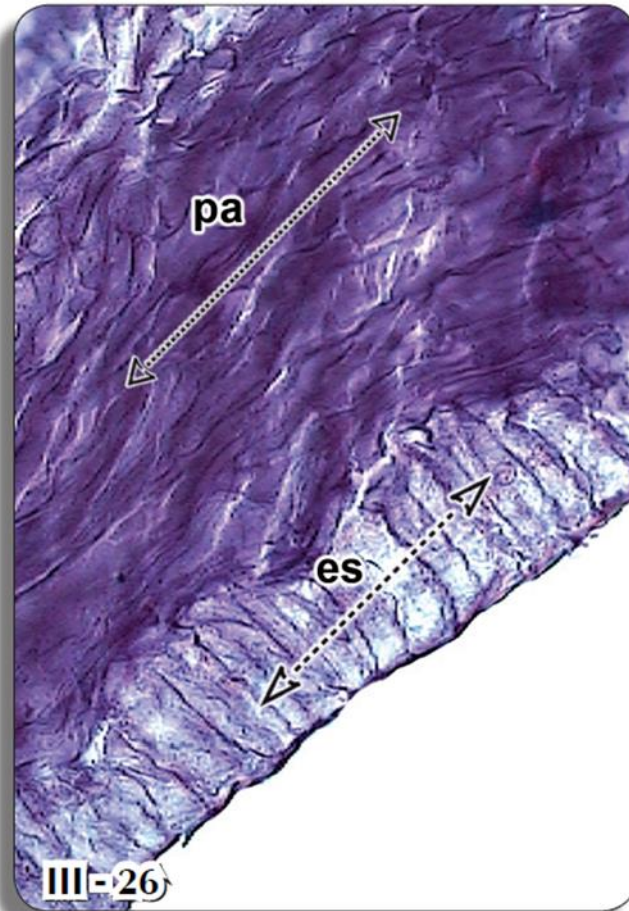


Figura 27. *Pyrus communis*. Dicotyledoneae. Sección transversal de semilla 400x. Testa seminal constituida de esclereidas (es), parénquima de reserva (pa). Fuente: (Azacarraga y et al, 2010)

**Actividad a desarrollar por el alumno (Epidermis).**

- ✓ Observa y dibuja 7 laminillas de epidermis de diferentes plantas
- ✓ Indica los tipos de epidermis que distingues en las laminillas

## IV. PARENQUIMA

En esta unidad está estructurada de la siguiente manera:

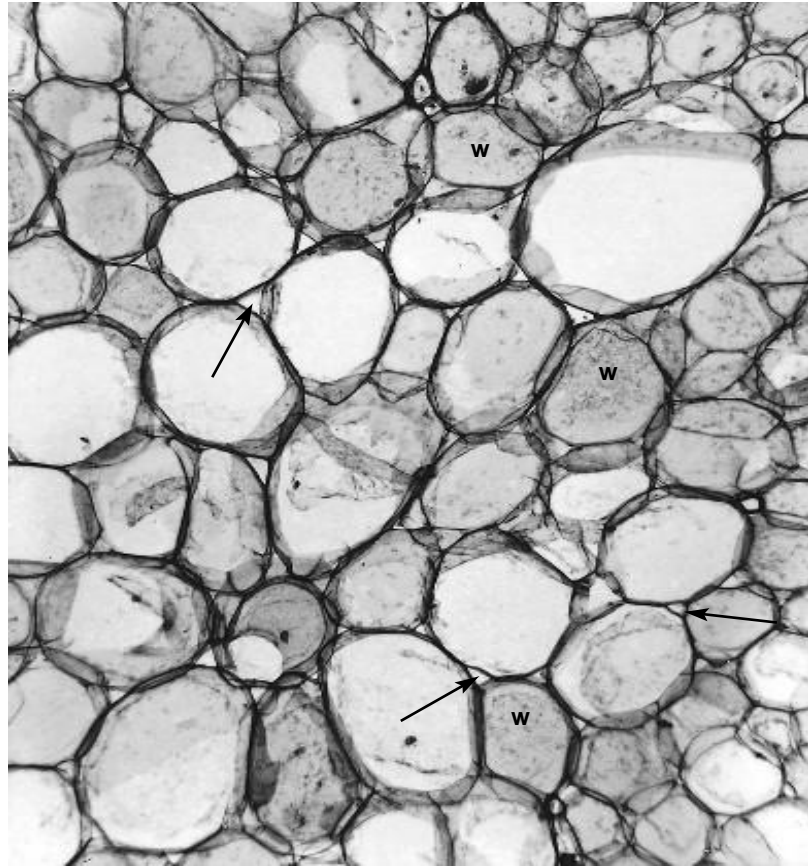
- Resumen de la unidad
- Tipos celulares que forman al parenquima
- Origen
- Estructura
- Formas de reconocimiento de los órganos vegetales
- Notas de interés
- Actividades para el alumno

Esta Unidad de mersitemos esta relacionda con la Unidad IV del programa de Anatomia de plantas Cultivadas

### Resumen

El término parénquima (**Figura 28 y 29**) se refiere a un grupo de células vivas similares en cuanto a estructura y función, éstas forman un tejido que exhibe relativamente pocas diferencias anatómicas en la planta. El parénquima puede estar representado por células dispersas o por un conjunto de células homogéneas que forman un tejido básico de células fisiológicamente activas en la síntesis, transporte o almacén de productos metabólicos. Sus células retienen la capacidad de división celular y rediferenciación en otros tejidos. Filogenéticamente se considera al parénquima como un tejido primitivo ya que las plantas

multicelulares inferiores sólo constan de parénquima, asimismo, sus células son similares morfológicamente a las de los tejidos meristemáticos.



**Figura 28. Espacios intercelulares y paredes en células del parénquima (Esau, 1977).**

## Origen

El parénquima presenta diversos orígenes: en el cuerpo primario de la planta se puede desarrollar a partir de meristemo fundamental, de procambium y, en ocasiones, a partir de protodermis; mientras que en el cuerpo secundario se origina de cambium vascular y cambium suberoso o felógeno (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

## Características celulares

El parénquima presenta variabilidad morfológica en sus células de acuerdo a su posición en la planta, a la función que desempeñan, a sus relaciones espaciales con células vecinas, a la presión y fuerza de tensión superficial, así como a la formación de espacios intercelulares. Las células de parénquima son células vivas, generalmente presentan paredes celulares primarias delgadas con puntuaciones y numerosos plasmodesmos; no obstante, existen células de paredes gruesas o muy gruesas en las que se acumula hemicelulosa, también se llegan a presentar células de paredes secundarias gruesas impregnadas de lignina. Existen formas rectangulares, redondas, alargadas, lobuladas, plegadas, estrelladas o células con prolongaciones (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

La estructura interna de la célula parenquimática varía de acuerdo a la función que realiza en la planta. Las células que realizan la fotosíntesis; presentan altos contenidos de cloroplastos y menor proporción de amiloplastos. Constituyen el parénquima fotosintético o clorofílico, en el cual se incluyen el parénquima en empalizada y parénquima plegado (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).



Las células con funciones de reserva o transporte, constituyen el parénquima esponjoso, así como el parénquima asociado a tejidos vasculares; presentan grandes vacuolas que suelen almacenar carbohidratos, sustancias nitrogenadas, amidas, proteínas, gránulos de aleurona, azúcares, mucílagos, pigmentos y particularmente agua; que se presenta en mayores concentraciones en células de plantas suculentas; asimismo, se pueden presentar taninos y sustancias minerales en diferentes formas cristalinas, entre una gama de metabolitos. Su citoplasma suele contener plastidios con reserva de almidón, proteínas y aceites, así como otras sustancias contenidas en el citosol. El tejido parenquimático de reserva de muchas flores, frutos maduros y ciertas raíces, suele presentar abundantes cromoplastos ricos en carotenoides, responsables del color naranja, rojo o amarillo que caracteriza estos órganos. Algunas especies desarrollan un parénquima esponjoso con numerosos espacios intercelulares llenos de aire, denominado aerénquima (f, cuyas células en ocasiones tienen formas estrelladas o ramificadas. Las células parenquimáticas idioblásticas, son células especializadas con grandes vacuolas, que pueden contener enzimas como la mirosina, aceites, mucílagos o resinas (2 4, 8, 11, 17, 23 y 25).

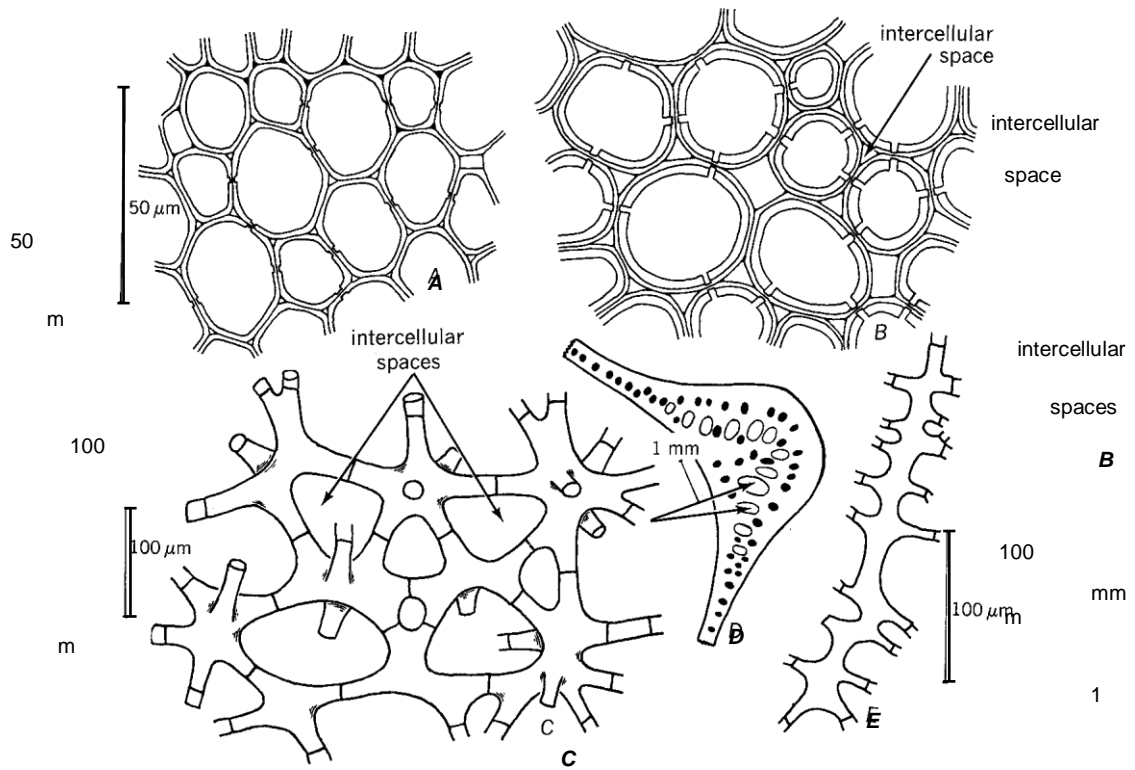


Figura 29. Formas de las células de los tipos de Parenquima (Esau, 1977).

## Ubicación y función

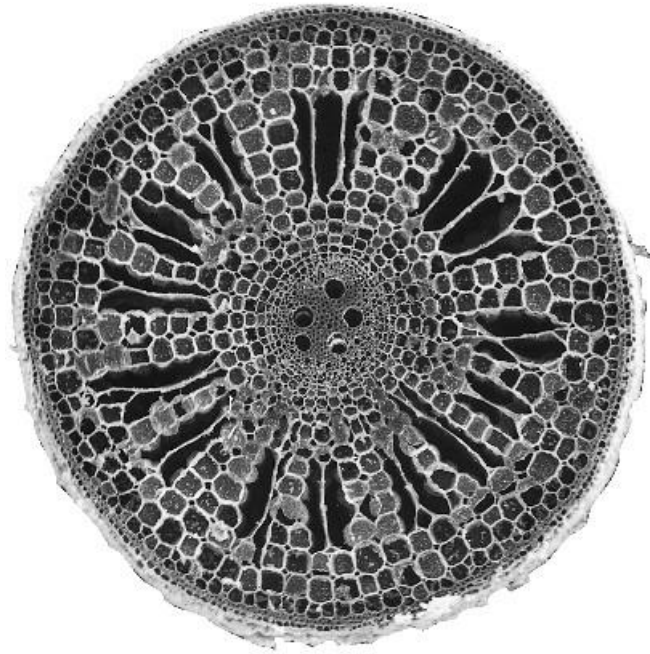
El parénquima se presenta en todos los órganos de la planta constituyendo parte importante de la masa corporal, formando tejidos básicos o asociados con los elementos conductores de xilema y floema. En raíces y tallos de consistencia herbácea, o que inician un crecimiento secundario, el parénquima esponjoso constituye el córtex y la médula, quienes llevan a cabo la función de almacenamiento y difusión (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

Las células del córtex frecuentemente pueden ser redondas, alargadas y lobuladas; mientras que las células que constituyen la médula son poliédricas. Tanto las células del córtex como las de la médula son turgentes con grandes vacuolas de diverso contenido en su jugo vacuolar; algunas especies pueden almacenar sucrosa, otras transforman sus reservas en macromoléculas osmóticamente inactivas como proteínas, almidón, glicógeno o grasa neutra; otras presentan plastidios de acuerdo a su adaptación y función, principalmente amiloplastos que acumulan almidón; las proteínas se guardan en forma de gránulos de aleurona en las vacuolas, asimismo presentan cromoplastos, sobre todo aquellas raíces coloridas. Entre las células de parénquima se presentan numerosos espacios intercelulares de pequeño tamaño; la turgencia de las células brinda resistencia a los órganos evitando su enrollamiento. En tallos herbáceos de monocotiledóneas, todo el parénquima es de tipo medular (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

En el ápice de la raíz, el parénquima cumple una función protectora, formando la caliptra, estructura que protege el meristemo apical; sus células periféricas secretan mucílago que facilita el crecimiento de la raíz a través del suelo; en su centro se encuentra la columnilla, conjunto de células parenquimáticas ordenadas en columna longitudinal, con distribución

polar de sus organelas, particularmente de amiloplastos o estatolitos; células consideradas responsables de la gravipercepción de las raíces. Los tejidos vasculares de tallo y raíz con crecimiento primario, presentan escasas células de parénquima (2 4, 8, 11, 17, 23 y 25).

En hojas, el parénquima constituye el mesófilo cuyas células varían en cuanto a forma, tamaño, contenido y función; en hojas de dicotiledóneas se diferencia un parénquima en empalizada formado por células alargadas y compactas, con modificaciones de acuerdo a la adaptación de la hoja. Presentan cloroplastos que varían en número y tamaño; las hojas de sombra poseen más grana por cloroplasto y un mayor número de tilacoides apilados por grana que las de sol; las células del parénquima en empalizada presentan una vacuola que varía en tamaño, presentándose en células de especies suculentas las vacuolas de mayor tamaño. Formando parte del mesófilo, se presenta un parénquima esponjoso o lagunar con células cuya forma oscila de redondas a lobuladas, con grandes vacuolas que almacenan principalmente agua, sales minerales, fotoasimilados y diferentes metabolitos de acuerdo a la especie; las células de este parénquima presentan frecuentes espacios aéreos (**Figura 30**) y escasos cloroplastos (2 4, 8, 11, 17, 23 y 25).



---

**Figura 30. Aerenquima en raíz de *Oryza sativa* (Esau, 1977).**

Ambos tipos de parénquima conforman el mesófilo en dicotiledóneas. Existe otro tipo de parénquima llamado parénquima clorofílico, cuyas células son de forma y contenido homogéneo, este tipo parénquima es característico por formar el mesófilo de monocotiledóneas. En hojas de gimnospermas como el caso de *Pinus*, se presenta como tejido fotosintético el parénquima plegado (2 4, 8, 11, 17, 23 y 25).

Aunque los anteriores son los tipos celulares más frecuentes, el mesófilo de las hojas puede presentar modificaciones de acuerdo al hábitat, a las adaptaciones o a las especies; la proporción del mismo también es variable en respuesta a características específicas, considerando que el parénquima del mesófilo es tanto clorofílico como de almacén. Los tejidos vasculares de las hojas presentan escasas células de parénquima; no obstante, algunas especies presentan la denominada vaina del haz, estructura constituida por un

grupo de células de parénquima que rodean al haz vascular (ver capítulo de hoja) (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

Algunos tallos de consistencia herbácea o semileñosa, en la periferia presentan parénquima con presencia de cloroplastos, denominado clorénquima, regularmente formado de células alargadas en empalizada, por lo que se considera un parénquima eficiente en la fotosíntesis, con células típicas de parénquima clorofílico. En tallos y raíces de consistencia leñosa, el parénquima forma parte de la peridermis, tejido de protección típico del crecimiento secundario, constituido por células parenquimáticas isodiamétricas con vacuolas que pueden resguardar diferentes metabolitos; las células de las capas externas de la peridermis engrosan su pared celular por la producción de suberina y terminan desprendiéndose (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

En tejidos vasculares de tallos y raíces de crecimiento secundario el parénquima constituye parte importante de la masa corporal formando parte tanto del xilema como del floema secundario, en forma de un parénquima axial y un parénquima radiomedular. Las células del parénquima axial son alargadas en relación con las células asociadas; las células del parénquima radiomedular son redondas o isodiamétricas. Ambos tipos de parénquima están formados de células vivas con paredes delgadas y vacuolas que resguardan diferente jugo vacuolar; el parénquima asociado a xilema o parénquima xilemático reserva principalmente agua y sales minerales, mientras que el parénquima asociado a floema denominado parénquima floemático resguarda agua, fotoasimilados, así como diferentes productos del metabolismo secundario (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

La flor es un conjunto de hojas modificadas, por lo que la mayor proporción de su masa corporal la constituye el parénquima en forma de mesófilo. En los sépalos se presenta tanto un parénquima en empalizada clorofílico como un parénquima esponjoso regularmente de almacén, su anatomía se asemeja al de una hoja fotosintética. Los pétalos presentan mesófilo de tipo esponjoso, generalmente con abundantes cromoplastos responsables del colorido de estas piezas florales (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

En frutos carnosos y semillas, el parénquima también constituye la mayor proporción de masa corporal. En los frutos forma principalmente el mesocarpio o el receptáculo, que se convierten en partes comestibles al madurar el fruto; en semillas, el parénquima es un tejido fundamental de cotiledones y endospermo. Finalmente, en ambos casos, el parénquima es compacto, con escasos o ningún espacio intercelular y su función es principalmente de almacén. Sus células presentan plástidos que acumulan productos como almidón y grasas, así como grandes vacuolas que resguardan principalmente agua, azúcares y, en el caso de semillas, gránulos de proteína en forma de aleurona; importante reserva nutritiva fundamental para la germinación de la semilla (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

Algunos frutos inmaduros presentan clorénquima que efectúa la fotosíntesis. Las raíces, tallos, pedúnculos y hojas de mesófitas, usualmente herbáceas que viven en lugares húmedos, así como algunas epífitas y generalmente las plantas acuáticas; desarrollan aerénquima, tejido parenquimático que consta de células con grandes espacios que acumulan aire, el que provee un sistema conductor entre las partes aéreas de la planta y el sistema radical. También se considera que proporciona un máximo de resistencia con un mínimo de tejido, a la tensión mecánica que soporta una planta en un ambiente acuático. El

parénquima es un tejido dinámico en la planta que interviene en diversas funciones como fotosíntesis, difusión de gases, reserva de nutrientes, producción y reserva de sustancias ergásticas que son utilizadas en algunas especies como mecanismos de defensa, cicatrización de heridas o regeneración de tejidos (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

En tallos de algunas especies leñosas, el parénquima axial del floema, como tejido de formación puede sintetizar, almacenar y modificar compuestos fenólicos como respuesta al ataque de insectos, por lo que constituye un espacio de defensa. Algunas raíces presentan células especializadas del parénquima vascular que participan en la reorganización del cilindro vascular, rellenando las cavidades que se forman durante ese proceso (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

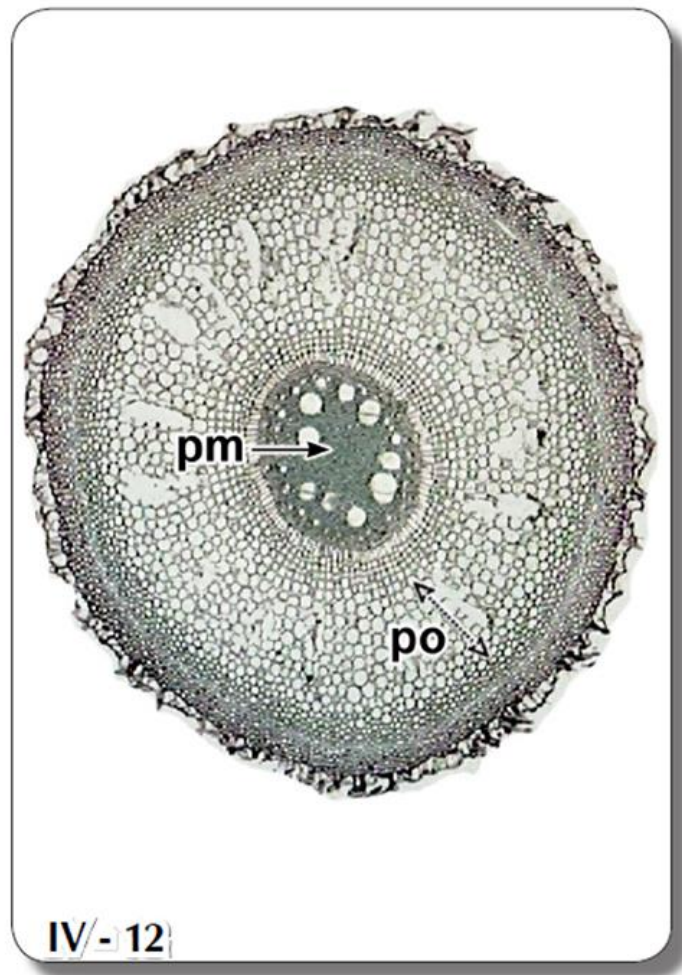
## **Notas de interés**

Porciones de órganos como tallos y, en menor proporción, hojas; cortados de una planta, usualmente desarrollan yemas y raíces a partir de su tejido parenquimático, como una forma eficiente de reproducción asexual, ya que constituyen acodos capaces de continuar vivos separados de la planta que les dio origen. En cultivo de tejidos, las células de parénquima, por su carácter totipotencial pueden regenerar nuevos individuos. (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

El parénquima es un tejido en el que se forman y almacenan diversos productos, algunos de importancia alimenticia como azúcares, proteínas, grasas y vitaminas, utilizados como fuente primaria en la alimentación; asimismo, una serie de metabolitos secundarios como



gomas, látex, alcaloides, taninos, aceites esenciales y mucílagos, entre otros productos, utilizados por la industria farmacéutica, química o de transformación (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).



**Figura 31.** Monocotyledoneae. Sección transversal de raíz 50x. Parénquima cortical (po), parénquima medular (pm). Fuente: (Azacarraga y *et al*, 2010)

**Actividad a desarrollar por el alumno (Parenquima).**

- ✓ Observa y dibuja 7 laminillas de parenquima de diferentes plantas
- ✓ Indica los tipos de parenquima que distingues en las laminillas

## V. COLENQUIMA

En esta unidad está estructurada de la siguiente manera:

- Resumen de la unidad
- Tipos celulares que forman al colenquima
- Origen
- Estructura
- Formas de reconocimiento de los órganos vegetales
- Notas de interés
- Actividades para el alumno

Esta Unidad de mersitemos esta relacionda con la Unidad V del programa de Anatomia de plantas Cultivadas

### Resumen

El colénquima es un tejido compuesto por células con protoplasto vivo y activo, constituyendo con el esclerénquima los tejidos mecánicos de sostén de la planta. Ambos, desde el punto de vista funcional, se designan como estroma. Entre el colénquima y parénquima, existe una importante relación morfológica y fisiológica, ya que en lugares en los que se encuentran uno junto al otro puede haber formas transicionales entre ellos. Tanto las células de colénquima como las de parénquima conservan su capacidad de

división celular originando, en ocasiones, tejido meristemático u otro tejido adulto de la planta.

## **Origen**

Ontogenéticamente el colénquima se desarrolla a partir de células de procambium, o de células más o menos isodiamétricas del meristemo fundamental. Asimismo, puede ser originado a partir de células de parénquima (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

## **Características celulares**

El colénquima consta de células vivas que, en general, tienen paredes desigualmente engrosadas. El tamaño y la forma de las células es variable, pueden ser prismas cortos y asemejarse a las células parenquimáticas vecinas, o bien ser largas y en forma de fibras con extremos aguzados, también existen todas las formas y tamaños intermedios. El contenido celular es semejante al de una célula parenquimática, los cloroplastos son numerosos en las células colenquimáticas menos especializadas y están ausentes o son escasos en las más especializadas. En algunas plantas, estas células también contienen taninos. La pared celular es de naturaleza primaria, no lignificada, flexible y brillante, muestra diferentes tipos de lamelación, con alternancia de microfibrillas orientadas transversal y longitudinalmente, constituidas por celulosa, hemicelulosa, pectinas y agua en grandes cantidades. Los campos de puntuaciones primarias son frecuentes, en especial en las paredes de grosor uniforme(2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

El colénquima puede lignificarse y las paredes de sus células pueden engrosar, convirtiéndose en esclerénquima. Asimismo, las paredes pueden adelgazarse y, como consecuencia, estas células pueden ser de nuevo meristemáticas y dividirse, originando nuevos tejidos, como ocurre cuando el felógeno se desarrolla a partir de colénquima (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

## **Tipos de colénquima**

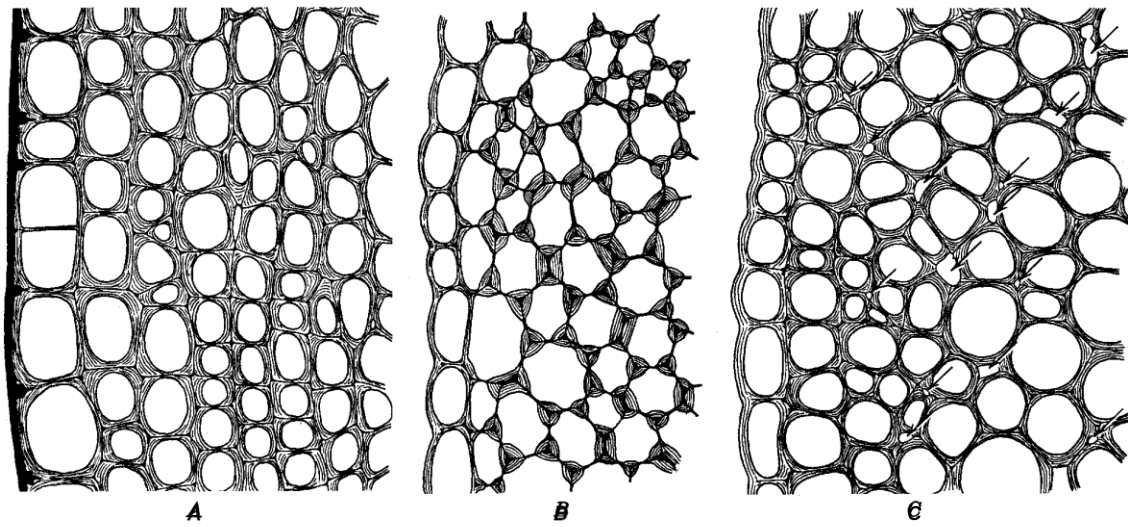
Se distinguen tres tipos principales de colénquima (**Figura 32 y33**) de acuerdo a la forma de engrosamiento de su pared celular; aunque algunos autores apoyan la existencia de un cuarto tipo a partir de una modificación (2 4, 8, 11,17, 23 y 25):

**Angular.** El engrosamiento de su pared celular es longitudinal y en los ángulos de las células. En sección transversal, estos engrosamientos se ven situados en los puntos en que se encuentran tres o más células.

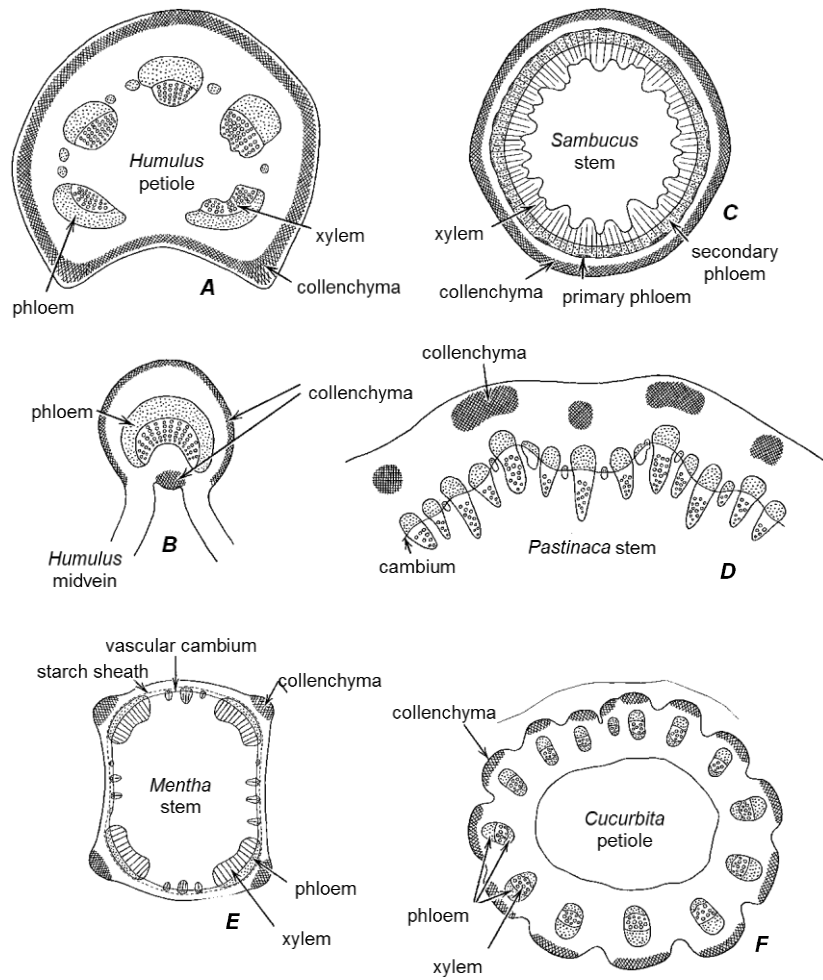
**Laminar.** Los engrosamientos se encuentran sobre todo en las paredes tangenciales de sus células.

**Lagunar.** Los engrosamientos de las paredes se encuentran situados en aquellas partes que dan a espacios intercelulares.

**Anular.** Se origina cuando el colénquima angular engrosa continuamente la pared y el lumen celular, visto en sección transversal, adopta una forma circular; no obstante, el colénquima anular no se considera un tipo adicional.



**Figura 32. Tipos de colénquima (Esau, 1977).**



**Figura 33. Colenquima en diferentes formas de tallo (Esau, 1977).**

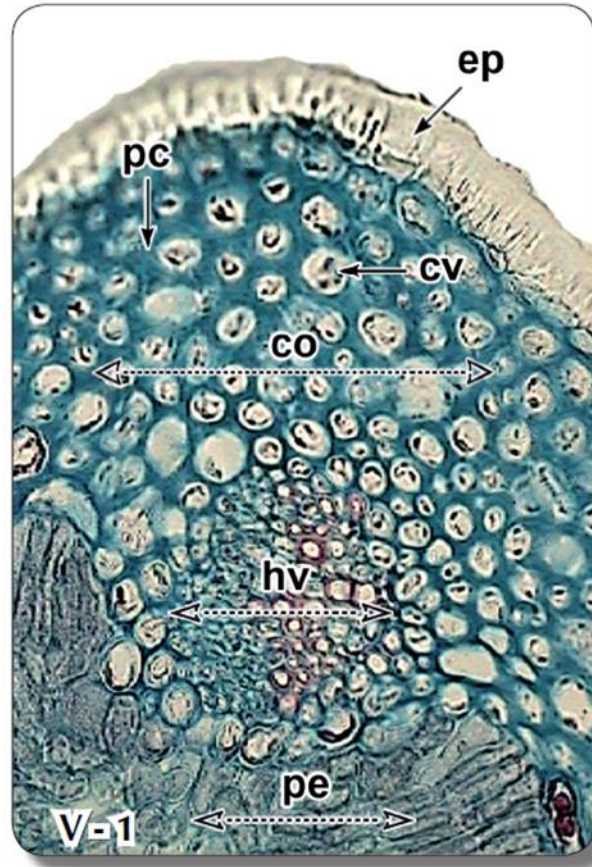


## Ubicación y función

El colénquima puede aparecer en tallos, hojas, partes florales, frutos y raíces; en las últimas se desarrolla principalmente cuando son expuestas a la luz, falta en tallos y hojas de muchas monocotiledóneas donde el esclerénquima se desarrolla tempranamente. Se forma normalmente bajo la epidermis, pero en algunos casos puede haber una o dos capas de células parenquimáticas entre el colénquima y la epidermis. Cuando el colénquima se encuentra directamente por debajo de la epidermis, las paredes internas y, en ocasiones, todas las paredes de las células epidérmicas se engrosan de modo similar a las del colénquima. En tallos, el colénquima puede estar formando un cilindro completo o bien en bandas longitudinales, se presenta en tallos tanto de crecimiento primario, como en aquéllos que han iniciado un crecimiento secundario. En las hojas, el colénquima aparece en uno o en ambos lados de las venas y a lo largo de los márgenes del limbo. En muchas plantas se encuentra por fuera de los haces vasculares o frente al floema, formando inicialmente grupos de células parenquimáticas alargadas, que se transforman en un tipo de colénquima; también puede encontrarse intercalado en el xilema, e incluso como una vaina que rodea a todo el haz vascular(2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

El colénquima constituye parte importante de frutos principalmente carnosos como pomos, hesperidios, bayas o en algunos frutos múltiples con receptáculos carnosos. El colénquima funciona como tejido mecánico en órganos jóvenes en desarrollo y maduros de plantas herbáceas y leñosas. Es un tejido plástico y se deforma irreversiblemente cuando crece el órgano en que se encuentra, la colénquima madura es menos plástico, más resistente y más frágil que el joven. Ciertos factores externos, como la acción del

viento y la agitación mecánica pueden estimular y acentuar el desarrollo cualitativo y cuantitativo del colénquima (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).



**Figura 34. *Nerium oleander*. Dicotyledoneae. Sección transversal de hoja 400x. Epidermis (ep), colénquima (co): pared celular primaria con engrosamientos desiguales (pc), células con alto contenido citoplasmático (cv); haz vascular (hv), parénquima enemplazada (pe). Fuente: (Azacarraga y et al, 2010)**

**Actividad a desarrollar por el alumno (Colenquima).**

- ✓ Observa y dibuja 7 laminillas de colenquima de diferentes plantas
- ✓ Indica los tipos de colenquima que distingues en las laminillas

## VI. ESCLERENQUIMA

En esta unidad está estructurada de la siguiente manera:

- Resumen de la unidad
- Tipos celulares que forman al esclerenquima
- Origen
- Estructura
- Formas de reconocimiento de los órganos vegetales
- Notas de interés
- Actividades para el alumno

Esta Unidad de mersitemos esta relacionda con la Unidad VI del programa de Anatomia de plantas Cultivadas

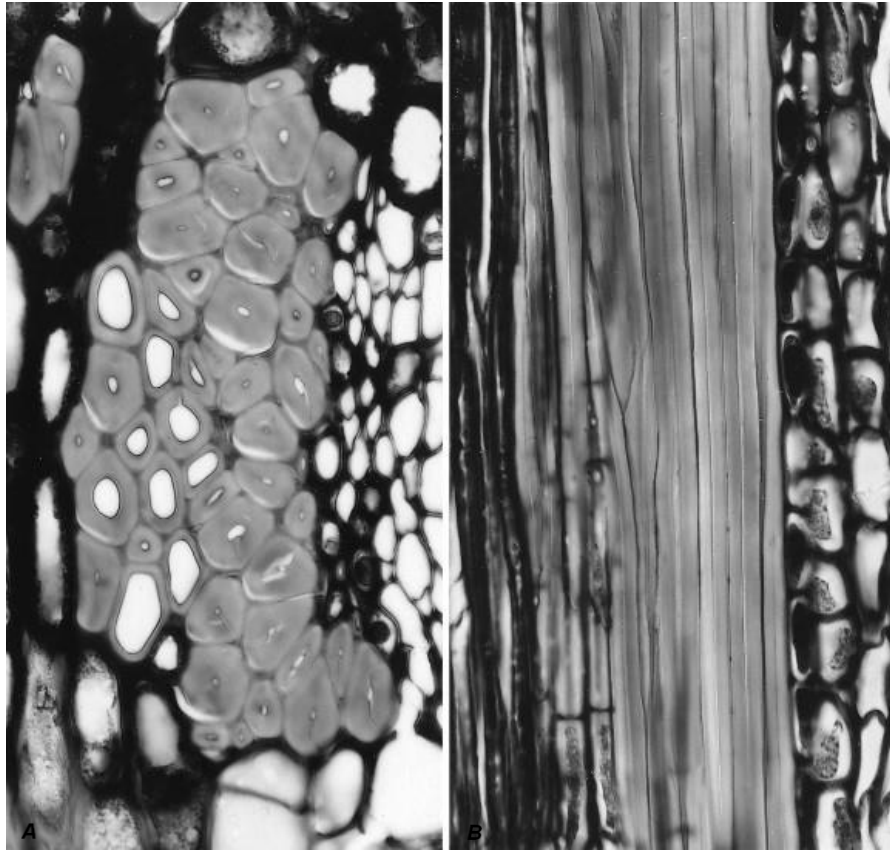
### Resumen

El esclerénquima es un tejido formado por células de paredes gruesas, secundarias, duras, elásticas, lignificadas o no, que proporcionan resistencia a los órganos de la planta frente a tensiones, pesos y presiones, de forma que las células de otros tejidos no sufran daño alguno. Su principal función es mecánica y, en ocasiones, de protección. Las células del esclerénquima tienen propiedades elásticas, contrario a las de colénquima con propiedades plásticas. Las células de esclerénquima pueden diferir en forma, estructura, origen y desarrollo. Existen muchas formas transicionales dentro de sus células.

Comúnmente, consta de fibras (**Figura 35**) y esclereidas: las fibras se definen normalmente como células largas y las esclereidas como células cortas; no obstante, la definición es restringida ya que existen esclereidas muy largas y fibras relativamente cortas.

## Origen

El esclerénquima presenta generalmente células no vivas con paredes lignificadas incapaces de crecimiento y división celular en su madurez. Se pueden diferenciar a partir de la protodermis, del meristemo fundamental o de procambium, en el cuerpo primario de la planta. A partir de cambium vascular o cambium suberoso, en el crecimiento secundario. Asimismo, a partir de tejidos adultos como células de parénquima cuyas paredes sufren engrosamiento secundario, o a partir de células de colénquima cuyas células pueden esclerificarse durante la diferenciación de los órganos en que se encuentran (2, 4, 8, 11, 17, 23 y 25).



**Figura 35. Fibras en floema primario (Esau, 1977).**

## **Características celulares**

El esclerénquima comprende una colección de tipos celulares con gruesa pared secundaria usualmente lignificada, con abundantes punteaduras, que generalmente carecen de protoplasto vivo en la madurez, aunque en ocasiones pueden conservarlo. Sus células presentan diferente concentración de lignina que varía de acuerdo a las partes de la planta en donde se ubiquen y a los estados de desarrollo (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

Respecto a forma, estructura y desarrollo, existe gran variación en las células de este tejido, lo que dificulta el establecimiento de tipos celulares; aunque en general, sus células se clasifican en esclereidas y fibras (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

## **Esclereidas**

Las esclereidas son células más cortas e isodiamétricas que las fibras en la mayoría de los casos, y muy variables en su forma. Se encuentran aisladas o en grupos, a veces asociadas al xilema o al floema. Las esclereidas presentan punteaduras muy estrechas, con aberturas redondeadas y generalmente más numerosas que las fibras. Las cavidades de las punteaduras de las esclereidas pueden tener, muy a menudo, formas ramificadas como resultado del crecimiento en grosor de la pared. En un limitado número de especies tanto de gimnospermas como de angiospermas, la pared de las esclereidas está caracterizada por la presencia de cristales, que usualmente son prismas de carbonato de calcio, depositados durante el desarrollo de la célula. Las esclereidas las podemos clasificar en (2 4, 8, 11,17, 23 y 25):



**Astroesclereidas:** células ramificadas a menudo en forma de estrella.

**Braquiesclereidas** (células pétreas): células cortas isodiamétricas que asemejan al parénquima.

**Esclereidas filiformes:** células alargadas o extendidas semejantes a fibras.

**Macroesclereidas:** células alargadas en ocasiones en forma de varilla, con depositación diferencial de celulosa y lignina en su pared celular.

**Osteoesclereidas:** células en forma de hueso o de carrete, cuyos extremos están ensanchados, lobulados y en ocasiones incluso algo ramificados.

**Tricoesclereidas:** células ramificadas, sus ramas delgadas se extienden dentro del espacio intercelular.

Existen formas intermedias entre las anteriores lo que en ocasiones dificulta la identificación del tipo correcto de esclereida. Las astroesclereidas y las tricoesclereidas tienen cierta similitud estructural, las tricoesclereidas intergradan con las esclereidas filiformes. Por otra parte, las osteoesclereidas pueden tener extremos ramificados y parecerse a las tricoesclereidas.

Debido a su variación morfológica, se usan términos adicionales como esclereidas fibriformes, columnares y polimórficas.

Es posible reorganizar cuatro tipos de esclereidas foliares con base en sus patrones de distribución, éstas son (2 4, 8, 11, 17, 23 y 25):

**Difusas:** se encuentran dispersas en el mesófilo.

**Terminales:** están confinadas a las terminaciones de las nervaduras.

**Mixtas:** contienen ambos tipos de esclereidas.

**Epidérmicas:** aquellas ubicadas en la epidermis.

## Fibras

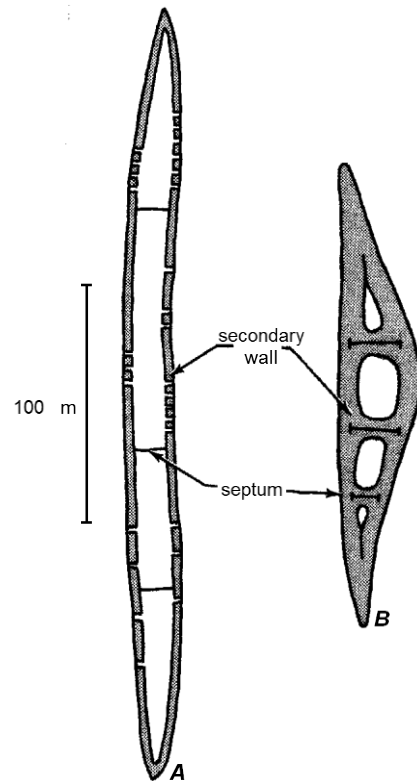
Las fibras (**Figura 36**) son normalmente células largas y estrechas con extremos aguzados y a veces ramificados, la longitud es muy variable; se clasifican, de acuerdo con su origen, en dos grupos: fibras xilares y fibras extraxilares.

Las fibras xilares, según su estructura se clasifican en(2 4, 8, 11,17, 23 y 25):

**Libriformes:** células largas, de pared gruesa, puntiagudas, con puntuaciones simples.

**Fibrotraqueidas:** son un estadio intermedio entre una traqueida y una fibra libriforme. Presentan paredes de grosor medio, entre una fibra libriforme y una traqueida, con puntuaciones rebordeadas.

**Gelatinosas o mucilaginosas:** se encuentran especialmente en la madera de tensión de las dicotiledóneas y difieren del tipo normal en que la capa más interna de la pared celular tiene propiedades físicas y químicas distintas, debido a que posee alta concentración de alfa-celulosa y es pobre en lignina, esta estructura, denominada “capa G”, absorbe agua y puede hincharse y ocupar todo el volumen de la fibra.



**Figura 36. Fibra (Esau, 1977).**

Septadas: tanto las fibras libriformes como las fibrotraqueidas pueden ser septadas. Este tipo de célula conserva su protoplasto y pueden almacenar almidón, aceite, resinas y cristales de oxalato de calcio.

Las Fibras extraxilares, incluyen todas las fibras existentes fuera del xilema. Se clasifican en (2, 4, 8, 11, 17, 23 y 25):

**Corticales:** si se encuentran en el córtex.

**Perivasculares primarias o pericíclicas:** si están asociadas a tejido vascular.

**Floicas:** si pertenecen al floema.

Muchas de las fibras extraxilares son estructuralmente semejantes a las fibras libriformes; asimismo, en el floema de algunas dicotiledóneas es factible encontrar fibras septadas.

## Ubicación y función

### Esclereidas

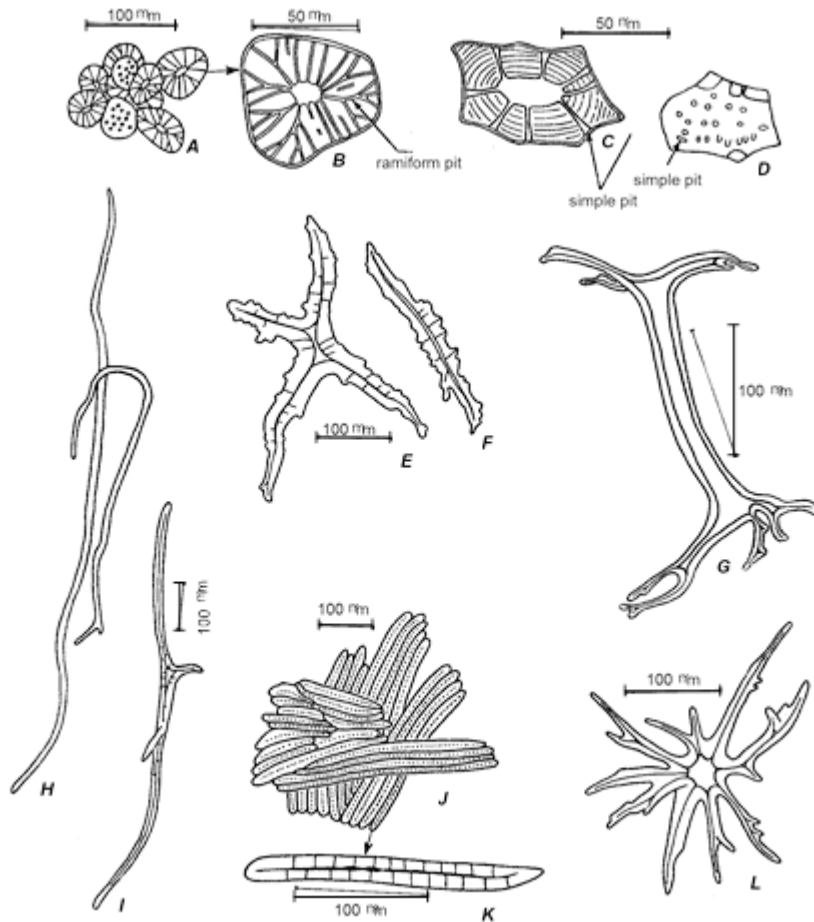
Las esclereidas (**Figura 37**) están ampliamente distribuidas en diversos grupos de angiospermas aunque son menos comunes en monocotiledóneas.

Pueden presentarse en raíces, tallos, hojas, frutos y semillas, ya sea como elementos solitarios, paquetes, capas o columnas. Pueden aparecer como masas celulares duras dentro de tejidos blandos parenquimáticos. En frutos, las esclereidas se encuentran en diferentes posiciones, pueden estar dispersas en el mesocarpo o formando capas sólidas en el pericarpo de algunos frutos duros. Ciertos órganos, como la cáscara de la nuez y otros frutos con hueso o cubiertas seminales duras, están formados enteramente por esclereidas. La dureza y consistencia de la cubierta seminal de numerosas especies se debe, con frecuencia, a la presencia de esclereidas (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

La cubierta seminal de leguminosas constituye un excelente ejemplo; en general está constituida por una delgada cutícula que recubre una capa pectinácea subcuticular formada por macroesclereidas o células de Malpighi. Bajo la capa de células de Malpighi se presenta una hipodermis formada por otro tipo de esclereidas llamadas osteoesclereidas (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

Es frecuente encontrar esclereidas en el mesófilo de las hojas, en la terminación de las venas de la lámina y en pecíolos. En muchas plantas las esclereidas aparecen como idioblastos, es decir, como células que se distinguen fácilmente de las que forman el tejido que las rodea. Se distinguen por su forma, tamaño y grosor de pared. Se puede encontrar braquiesclereidas en el floema, la médula, el córtex y la corteza de tallos, así como en el mesocarpio y pericarpio de frutos. Las macrosclereidas forman una capa continua en la testa de semillas, por ejemplo en leguminosas. Las osteoesclereidas se encuentran sobre todo en cubiertas de semillas y en ocasiones en hojas de algunas dicotiledóneas. Las astroesclereidas se encuentran sobre todo en hojas. Algunas raíces se caracterizan por la presencia de tricoesclereidas (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

Es poco conocida la función de las esclereidas, aunque en algunos tejidos vegetales cumplen una función mecánica, de soporte y protección, disminuyendo la herbivoría; a algunas esclereidas de las venas terminales se les asocia con la conducción de agua en hojas, algunas más, con la transmisión de luz. Se considera que la cantidad de luz transmitida por las esclereidas es 30 veces mayor que la de las células mesofílicas vecinas. Las hojas expuestas al sol tienen más esclereidas por unidad de área que las de sombra. Se presume que la anatomía y orientación de las esclereidas pueden contribuir en el incremento cualitativo y cuantitativo de la luz del microambiente mesofílico. Una revisión sistemática revela que las esclereidas se encuentran en las hojas de aproximadamente 500 géneros de 121 familias de plantas con flores (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).



**Figura 37. Diferentes tipos de esclereidas (Esau, 1977).**

## Fibras

Las fibras se encuentran en raíces, tallos, hojas y frutos, asociadas a diversos tejidos, en especial al tejido vascular. La distribución de las fibras responde a las presiones que soporta el cuerpo de la planta, sumando la fuerza de compresión y el peso de la misma, el tallo está sujeto a la tensión del doblamiento. Esta fuerza produce considerable tensión en la región periférica del eje; el tallo, ramas y hojas tienen que resistir altas presiones durante la compresión, así como soportar y resistir la tensión. Las fibras son flexibles, resisten la tensión y son suficientemente fuertes para resistir también las fuerzas de

compresión. Se distribuyen en tallos y hojas con la alternancia de la compresión y tensión (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

El arreglo del grosor de sus paredes en el eje vertical confiere estabilidad mecánica a la planta. Por lo general las células de paredes más delgadas se encuentran hacia la parte central, mientras que los elementos de paredes gruesas están más cercanos a la periferia para resistir la deformación o enrollamiento (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

Las fibras xilemáticas forman parte integral del xilema y se diferencian a partir de los mismos tejidos meristemáticos que los demás elementos del xilema, en el crecimiento primario de procambium y en el crecimiento secundario de cambium vascular. Las fibras xilares exhiben una serie de estados transicionales de evolución, desde una fibra libriforme, fibras septadas, fibras libriformes con protoplastos vivos, o una fibrotraqueida. Constituyen parte importante tanto del xilema primario como secundario en las plantas vasculares (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

Las fibras extraxilares pueden aparecer formando un cilindro interrumpido o no, situado en el interior del tejido fundamental. Pueden estar situadas a distinta distancia dentro del córtex, bajo la epidermis e incluso rodear los haces vasculares más externos, estas fibras pueden ser formadas a partir de meristemo fundamental y constituyen las denominadas fibras corticales, o pueden ser originadas a partir de procambium y estar relacionadas al floema, por lo que conforman las fibras floemáticas.

En monocotiledóneas es frecuente que las fibras formen vainas alrededor de los haces vasculares, denominadas fibras perivasculares. Tales fibras se originan, tanto de

procambium como de meristemo fundamental. En tallos de algunas dicotiledóneas trepadoras, las fibras se encuentran en la capa más interna del cilindro cortical y en la periferia del cilindro central, estas fibras son llamadas pericíclicas; no obstante, su origen es el procambium, por lo que son consideradas como fibras floemáticas; asimismo se presentan las fibras asociadas al floema en los haces vasculares o en el floema secundario y constituyen fibras floemáticas, originadas en el floema primario a partir de procambium y en el floema secundario a partir de cambium vascular(2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

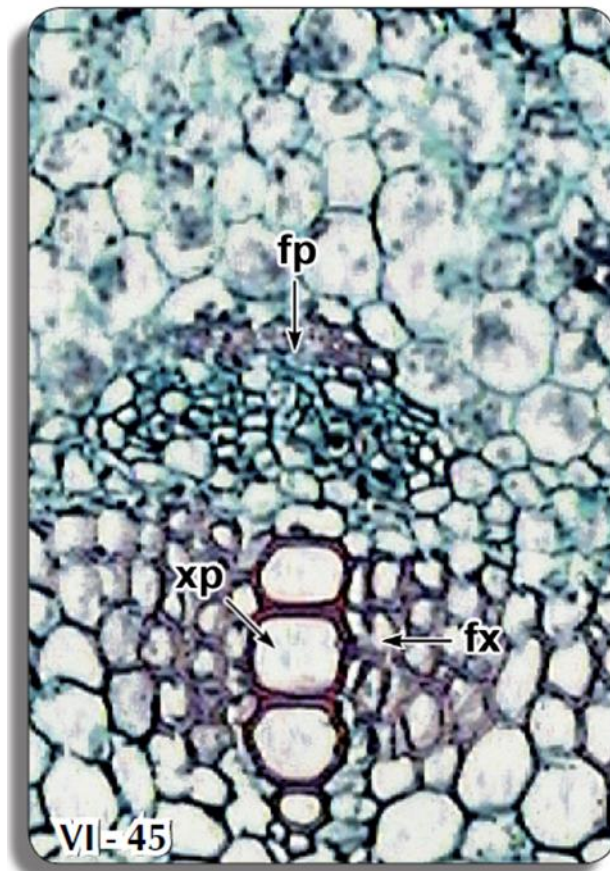
El esclerénquima, además de dar sostén a la planta, le ayuda a disminuir la herbivoría o el ataque de patógenos, ya que las fibras forman barreras con sus paredes lignificadas que reducen la facilidad de ser masticadas; asimismo, disminuyen la posibilidad de penetración y dispersión de agentes patógenos. La alimentación de herbívoros superiores se basa principalmente en el consumo de pastos, en los que las fibras juegan un papel importante, pastos de climas tropicales o de condiciones extremas de sequía, salinidad o altas temperaturas, forman mayor proporción de fibras y células lignificadas que pastos de climas templados; por lo que los pastos de climas extremos serán menos palatables y de difícil digestión que pastos de climas templados (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

En la alimentación humana, el consumo de vegetales con proporciones moderadas de fibras y esclereidas, son excelentes para una buena digestión.La importancia económica del esclerénquima es histórica por el uso de sus fibras, existen registros geológicos que prueban el uso del sisal (*Agave sisalana*), desde hace 10 000 años en América y el del lino (*Linum usitatissimum*) en Europa (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).



Las fibras producidas por el esclerénquima, se clasifican como fibras fuertes, aquellas que se extraen de las hojas de monocotiledóneas como el abacá (*Musa textilis*), la lechuguilla (*Agave lecheguilla*), el henequén (*Agave fourcroydes*), o el sisal (*Agave sisalana*), entre otros; cuyas fibras se utilizan principalmente en cordelería, en la elaboración de bolsas, costales, amarres y bajo alfombras, por mencionar algunos de sus múltiples usos(2 4, 8, 11,17, 23 y 25) .

Las fibras suaves se extraen principalmente de los tallos de dicotiledóneas como el kenaf (*Hibiscus cannabinus* e *H. subdariffa*); el lino (*Linum usitatissimum*); el cáñamo (*Cannabis sativa*); el ramio (*Boehmeria nivea*); o el yute del Congo (*Urena lobata* y *U. sinuata*), estas dos últimas cuentan con las fibras más largas hasta el momento conocidas, llegan a medir hasta 75 cm de largo. De este grupo de especies, sus fibras se utilizan principalmente para la elaboración de numerosos textiles; por ser flexibles y suaves, en la elaboración del papel moneda, de papel para cigarros o papel en general, así como para la elaboración de hilo. El 2% de los textiles fabricados en el mundo son elaborados con lino. Una forma más de apreciar la importancia de las fibras es en la elaboración de múltiples instrumentos musicales, ya que la calidad del sonido depende del tipo de fibra que presente la madera con la que fue elaborado el instrumento. Otra sería la elaboración de barriles para el añejamiento de vino, ya que también la calidad del vino y el tiempo de añejamiento dependen de la fibra de la madera con que fue elaborado el barril. Éstos son sólo algunos usos de las fibras, ya que muchas de nuestras actividades cotidianas están relacionadas con las fibras presentes en especies vegetales(2 4, 8, 11,17, 23 y 25).



**Figura 38. *Dahlia* sp. Dicotyledoneae. Sección transversal de tallo 200x. Haz vascular: xilema primario (xp), fibras xilares (fx), floema primario (fp). Fuente: (Azacarraga y et al, 2010)**

**Actividad a desarrollar por el alumno (Esclerenquima).**

- ✓ Observa y dibuja 7 laminillas de esclerenquima de diferentes plantas
- ✓ Indica los tipos de esclerenquima que distingues en las laminillas

## VII. XILEMA

En esta unidad está estructurada de la siguiente manera:

- Resumen de la unidad
- Tipos celulares que forman al xilema
- Origen
- Estructura
- Formas de reconocimiento de los órganos vegetales
- Notas de interés
- Actividades para el alumno

Esta Unidad de mersitemos esta relacionda con la Unidad VII del programa de Anatomia de plantas Cultivadas

### Resumen

El xilema (derivado del griego xylon, madera); igual que el floema, forma parte del tejido vascular de las fanerógamas. El xilema tiene como función principal el transporte de agua y solutos orgánicos e inorgánicos desde la raíz hacia los demás órganos, además está implicado en el soporte y almacén de alimentos. En el cuerpo primario de las plantas se diferencia a partir del tejido meristemático llamado procambium y se le conoce entonces como xilema primario. En muchas plantas, una vez que se termina el crecimiento primario, se desarrollan tejidos secundarios que originan el aumento en grosor, principalmente de

tallos y raíces; estos tejidos son el xilema y el floema secundarios, ambos derivados de la actividad del tejido meristemático llamado cambium vascular.

## Tipos celulares

El xilema se considera un tejido complejo, puesto que está conformado por diferentes tipos de células que se han especializado en estructura y función (2 4, 8, 11, 17, 23 y 25):

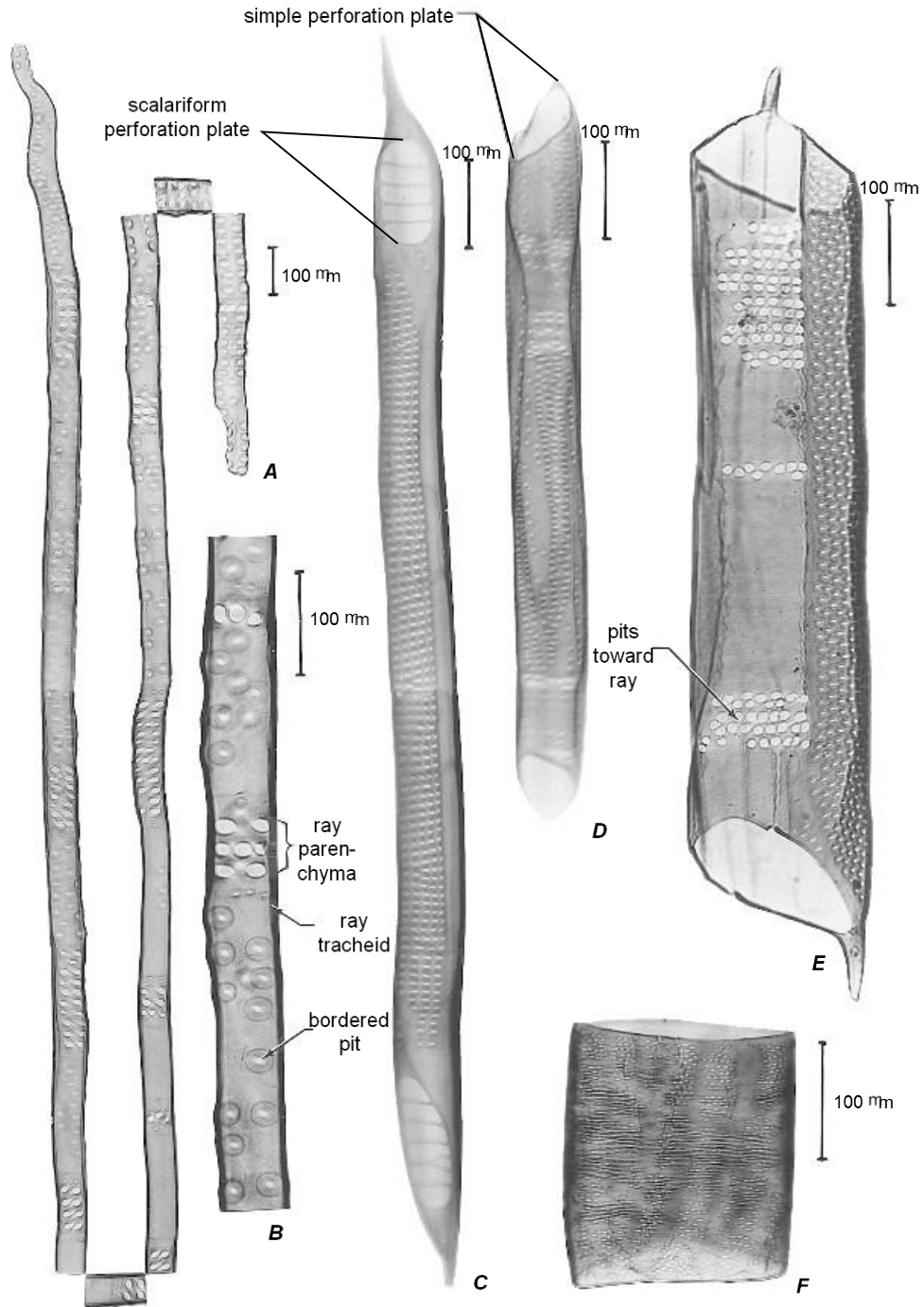
**Elementos traqueales.** Son células conductoras, de las que se reconocen dos tipos, traqueidas (**Figura 39**) y elementos o miembros de los vasos. Su función es el transporte de agua y solutos.

**Células parenquimáticas.** Están implicadas en diversas actividades metabólicas, translocación de varias sustancias y almacén de alimentos, particularmente de almidón y grasas. En muchos árboles deciduos de zonas templadas, el almidón se acumula a finales del verano y principios del otoño y disminuye durante la dormancia en las bajas temperaturas del invierno, cuando el almidón es convertido en sacarosa. La disolución del almidón durante la dormancia puede ser una acción principalmente de protección contra daños por heladas. Las grasas y el contenido de proteínas almacenadas en las células de parénquima también pueden variar estacionalmente y son comunes inclusiones como taninos y cristales. El tipo de cristal y su arreglo puede ser una característica útil para la identificación de maderas.

**Fibras.** Fundamentales para el sostén del cuerpo de la planta, algunas veces sirven de almacén. Son células alargadas con pared celular, cuyo grosor varía, aunque usualmente es más gruesa que la pared de las traqueidas en el mismo leño. Se reconocen dos tipos de

fibras del xilema, las fibrotraqueidas y las fibras libriformes; si ambas se presentan en el mismo xilema, las fibras libriformes son más largas y comúnmente tienen pared más gruesa que las fibrotraqueidas. Las fibras de ambas categorías pueden estar septadas, cuando es así, comúnmente retienen su protoplasto en el leño activo maduro, donde están relacionadas con el almacén de sustancias de reserva. De esta forma, las fibras vivas se asemejan a las células del parénquima en estructura y función. La diferencia entre ambas es muy ligera cuando las células del parénquima desarrollan pared secundaria y septos.

En el xilema también se pueden presentar ocasionalmente, además de los elementos anteriores, otros tipos de células como las esclereidas, cuya función es de sostén, conductos resiníferos y laticíferos.



**Figura 39. Tipos de traqueidas (Esau, 1977).**

## **Elementos traqueales**

Son células relacionadas fundamentalmente con el transporte de agua y solutos, aunque cumplen en cierta forma una función de tipo mecánico, la de sostén, por presentar pared celular rígida y lignificada. La característica más distintiva de estas células es la presencia en sus paredes laterales de punteaduras que pueden ser simples o rebordeadas, para facilitar la conducción lateral y brindar soporte. La eficacia de los elementos traqueales como células conductoras, se debe a que al madurar pierden su contenido protoplasmático quedando solo la pared celular; por esta característica se consideran como células no vivas. Se pueden distinguir dos tipos de elementos traqueales: traqueidas y elementos de los vasos (2 4, 8, 11, 17, 23 y 25).

## **Traqueidas**

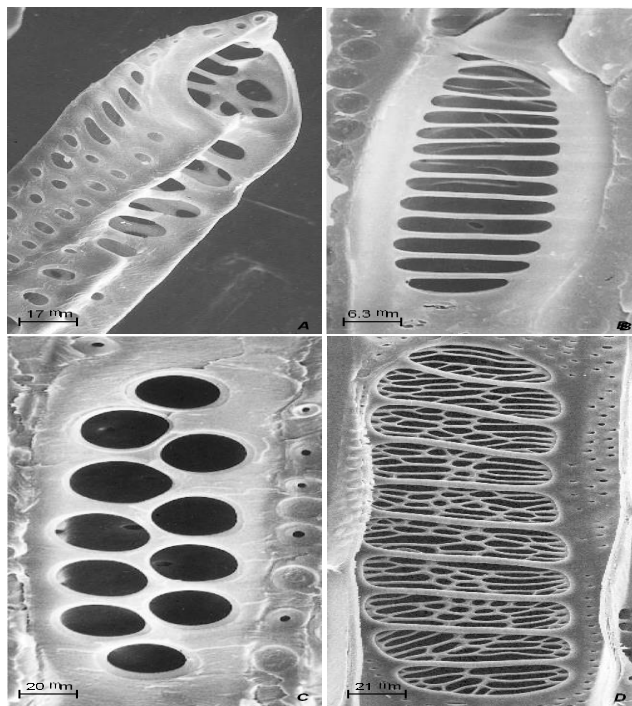
Células que se presentan en gimnospermas y plantas vasculares primitivas y con menor frecuencia en angiospermas. Se distinguen de los elementos del vaso por su forma alargada y no estar perforadas en los extremos (2 4, 8, 11, 17, 23 y 25).



## Elementos, miembros o segmentos del vaso

Son células características de las angiospermas, tienen sus extremos perforados y a veces también sus paredes laterales, lo que las hace ser, en parte, más eficientes que las traqueidas en la conducción del agua (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

Las áreas que están perforadas (**Figura 40**) en los elementos del vaso se denominan placas perforadas, existiendo diferentes tipos de ellas; cuando se presenta una gran abertura se le llama placa perforada simple y cuando son muchas perforaciones pueden ser de los siguientes tipos: placa perforada escaleriforme, placa perforada foraminada y placa perforada reticulada, dependiendo de la disposición de las perforaciones (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).



**Figura 40. Tipos de placas perforadas (Esau, 1977)**

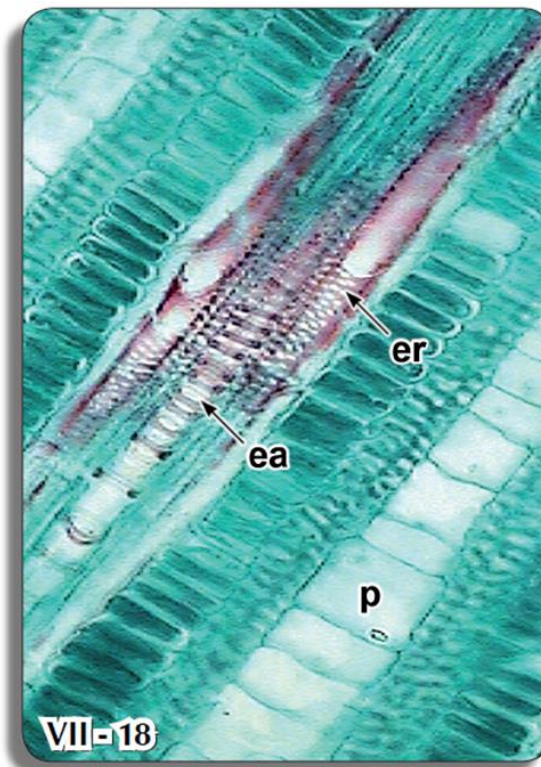
Varios elementos de los vasos unidos al nivel de sus paredes terminales forman un tubo o columna continua de células llamado tráquea o vaso. Un vaso puede consistir de dos, cientos o hasta de miles de elementos del vaso (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

En la pared secundaria de los elementos traqueales, del último xilema primario formado y del xilema secundario, se presentan punteaduras simples o rebordeadas. Usualmente se encuentran numerosos pares de punteaduras rebordeadas entre elementos traqueales contiguos, pero entre elementos traqueales y fibras hay pocos o no existen. Se han encontrado pares de punteaduras simples o rebordeadas entre elementos traqueales y parénquima (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

La pared celular de los vasos y de las traqueidas tiene tres funciones importantes: permite el flujo de agua entre conductos adyacentes; frena la entrada de aire desde conductos adyacentes llenos de gas a los conductos adyacentes funcionales llenos de agua; e impide el colapso de la pared bajo la presión negativa significativa de la corriente de transpiración(2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

En los elementos traqueales existen diferentes formas de engrosamiento de la pared celular secundaria; puede ser de tipo anular, helicoidal y escaleriforme, reticular y punteado. Las células con engrosamiento punteado se conocen como elementos punteados y son típicos de xilema primario tardío y del xilema secundario. En algunas especies pueden encontrarse tipos intermedios de engrosamiento o la combinación de varios (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

Los términos plantas vasculares y traqueofitas, se refirieren a la presencia de elementos traqueales, estas células, por su pared celular rígida, son más conspicuas que los elementos cribosos del floema; se preservan mejor en los fósiles y pueden estudiarse con mayor facilidad. Por lo tanto, el xilema, más que el floema, se utiliza en la identificación de plantas vasculares. Asimismo, el grosor y dureza de la pared celular de tráqueas y células esclerenquimatosas que conforman los haces vasculares, impiden la infección por royas en tallos de cereales, y evitan el desarrollo de las manchas foliares angulares que se dispersan por la nervadura, pero no a través de éstas (2 4, 8, 11, 17, 23 y 25).



**Figura 41. Bouteloua sp. Monocotyledoneae. Sección longitudinal de tallo 400x. Elementos traqueales con engrosamiento anular (ea) y reticular (er) de la pared secundaria, parénquima (p). Fuente: (Azacarraga y et al, 2010)**

**Actividad a desarrollar por el alumno (Xilema).**

- ✓ Observa y dibuja 7 laminillas de xilema de diferentes plantas
- ✓ Indica los tipos de xilema que distingues en las laminillas

## VIII. FLOEMA

En esta unidad está estructurada de la siguiente manera:

- Resumen de la unidad
- Tipos celulares que forman al floema
- Origen
- Estructura
- Formas de reconocimiento de los órganos vegetales
- Notas de interés
- Actividades para el alumno

Esta Unidad de mersitemos esta relacionda con la Unidad VIII del programa de Anatomia de plantas Cultivadas

### Resumen

El floema está constituido por diferentes tipos de células, por lo que se le considera un tejido complejo como al xilema. Aunque al floema se le otorga como función principal el transporte de alimentos, juega un papel mayor en la vida de las plantas: este tejido transporta un amplio rango de sustancias, entre ellas, azúcares, aminoácidos, micronutrientes, lípidos (principalmente en forma de ácidos grasos libres), hormonas, estímulos florales y numerosas proteínas y RNA's. Debido a que es una vía rápida de información, el floema juega un papel importante en la comunicación entre órganos y la

coordinación de procesos de crecimiento dentro de la planta. Por lo que el envío de señales a larga distancia en plantas se hace predominantemente a través del floema, que también transporta una gran cantidad de agua y puede servir como la fuente principal de ésta en frutos, hojas jóvenes y órganos de almacén, como tubérculos. El floema, del mismo modo que el xilema, se clasifica en floema primario y secundario, con base en tiempo de aparición en relación al desarrollo un órgano o de la planta como un todo. El floema primario se deriva del procambium y se diferencia en el cuerpo primario del vegetal. Su formación se inicia en el embrión o plantas jóvenes, se adiciona constantemente durante el desarrollo del cuerpo primario de la planta y termina su diferenciación cuando el cuerpo primario de la planta se encuentra completamente formado. En especies que presentan crecimiento secundario, se desarrolla el floema secundario a partir del cambium vascular.

Aunque el floema, generalmente en tallos y raíces, está situado al exterior del xilema, o es abaxial en hojas, en especies de las familias Apocynaceae, Asclepiadaceae, Convolvulaceae, Cucurbitaceae, Myrtaceae, Solanaceae y Asteraceae, parte de él también está localizado en el lado opuesto. El floema que se encuentra en el lado externo del xilema es conocido como floema externo y el interno, como floema interno o intraxilar. En ciertas familias como Amaranthaceae, Chenopodiaceae y Nyctaginaceae, el cambium, además de producir floema hacia fuera y hacia adentro del xilema, periódicamente forma cadenas o capas de floema hacia el interior del tallo, así que se pueden encontrar cadenas de floema embebidas en el xilema. A este floema se le conoce como floema interxilar o incluido.

## **Tipos celulares**

El floema está conformado por los siguientes tipos de células (2 4, 8, 11, 17, 23 y 25):

**Elementos cribosos.** Son células que transportan los fotoasimilados; de ellas se distinguen dos tipos: los segmentos o miembros del tubo criboso y las células cribosas.

**Células parenquimáticas especializadas.** Pueden ser de dos tipos: las células anexas o células acompañantes y las células albumíferas o células de Strasburger. Ambas están relacionadas con el funcionamiento de los elementos cribosos.

**Células parenquimáticas típicas.** Almacenan sustancias como almidón, taninos y cristales. Estas células se pueden intergradar con las células acompañantes en su relación con los elementos del tubo criboso y no siempre se distinguen unas de otras. Junto con los elementos del tubo criboso, constituyen una unidad fisiológica. Después de que el tejido deja de conducir, las células de parénquima pueden permanecer relativamente sin cambios o pueden esclerificarse.

También se pueden encontrar en el floema, fibras, esclereidas y en ocasiones laticíferos, canales resiníferos y varios idioblastos, especializados morfológica y fisiológicamente.

## **Elementos cribosos**

El nombre de estas células está dado por la presencia de perforaciones en su pared celular llamadas cribas, siendo una característica particular, aunada a la ausencia de núcleo en su protoplasto. La pared celular de los elementos cribosos suele ser sólo primaria y está constituida principalmente por celulosa (2, 4, 8, 11, 17, 23 y 25).

Aunque el grosor de la pared celular es variable, generalmente es más gruesa que la pared de las células de parénquima que las rodean. En la madurez, los elementos cribosos retienen su membrana plasmática, retículo endoplásmico, plastidios y mitocondrias, ocupando dentro de la célula una posición parietal (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

Las cribas son un tipo de depresiones en la pared celular donde pueden localizarse grupos de poros, cada uno contiene normalmente un pequeño cilindro de calosa. La densidad y la disposición de las cribas en los elementos cribosos son variables: tomando en cuenta el grosor de los filamentos de conexión y el grado de desarrollo de los cilindros de calosa, pueden distinguirse cribas de distinto grado de diferenciación, las cribas más especializadas se encuentran generalmente en las paredes terminales de los elementos. Las zonas de la pared que contienen estas cribas especializadas se llaman placas cribosas. La mayoría de calosa asociada con los elementos del tubo cribosos (**Figura 42**) funcionales, se deposita en respuesta a daños mecánicos o algún otro tipo de estímulo. No toda la calosa asociada con los poros de las cribas es originada por daños: la calosa normalmente se acumula en las placas cribosas y áreas cribosas laterales de elementos del tubo senescentes (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

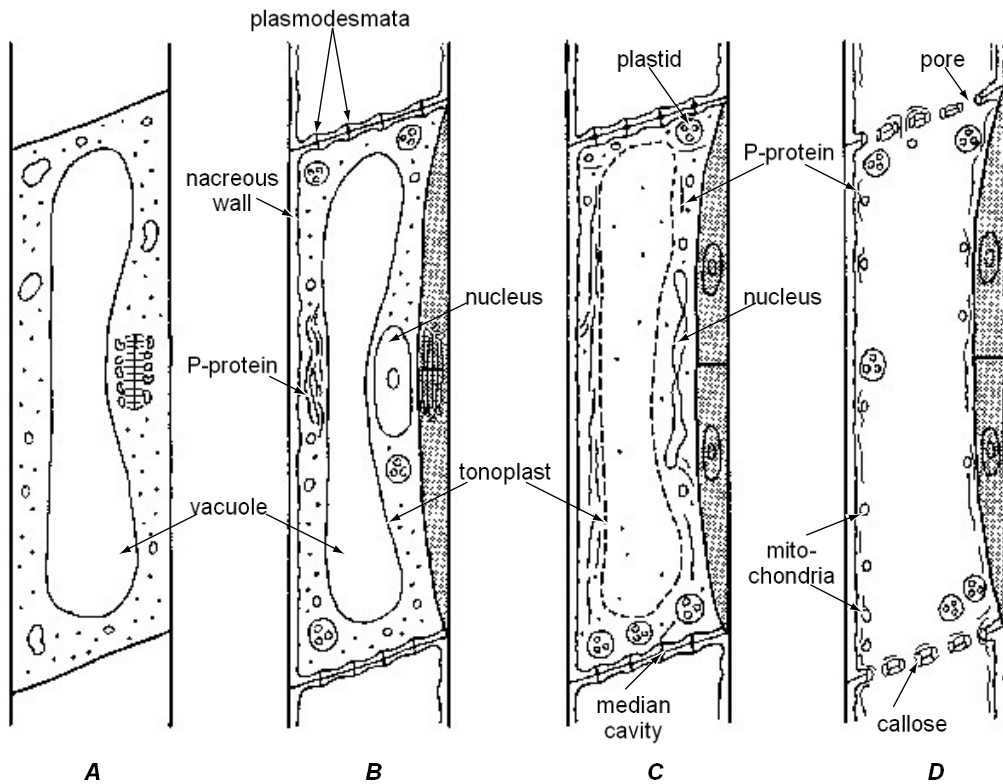
Los elementos cribosos se pueden dividir en dos tipos (2 4, 8, 11,17, 23 y 25):

**Los segmentos, elementos o miembros del tubo criboso.** Células muy especializadas que se desarrollaron en las angiospermas, adaptadas para el movimiento más eficiente de solutos orgánicos en proporciones altas. Presentan placas cribosas y contienen una sustancia proteica denominada proteína P (proteína del floema, antes llamada mucílago). Los elementos del tubo criboso están asociados con las células anejas.



El término tubo criboso se refiere a una serie longitudinal de elementos del tubo criboso. En Cucurbita maxima la proteína P está compuesta de dos proteínas muy abundantes, la PPI y la PP2. El papel de la proteína P permanece incierto, se ha sugerido que la PPI sirve para sellar los poros de la placa cribosa de elementos dañados, representando la primera línea de defensa de los tubos cribosos contra la pérdida de asimilados (2, 4, 8, 11, 17, 23 y 25).

**Las células cribosas.** No presentan placas cribosas ni proteína P, suelen presentar extremos agudos o paredes terminales oblicuas. Son elementos encontrados en gimnospermas y plantas vasculares inferiores. Las células cribosas están asociadas funcionalmente con las células de Strasburger o células albuminíferas. En la mayoría de las plantas son funcionales por un periodo limitado, generalmente un año o menos.



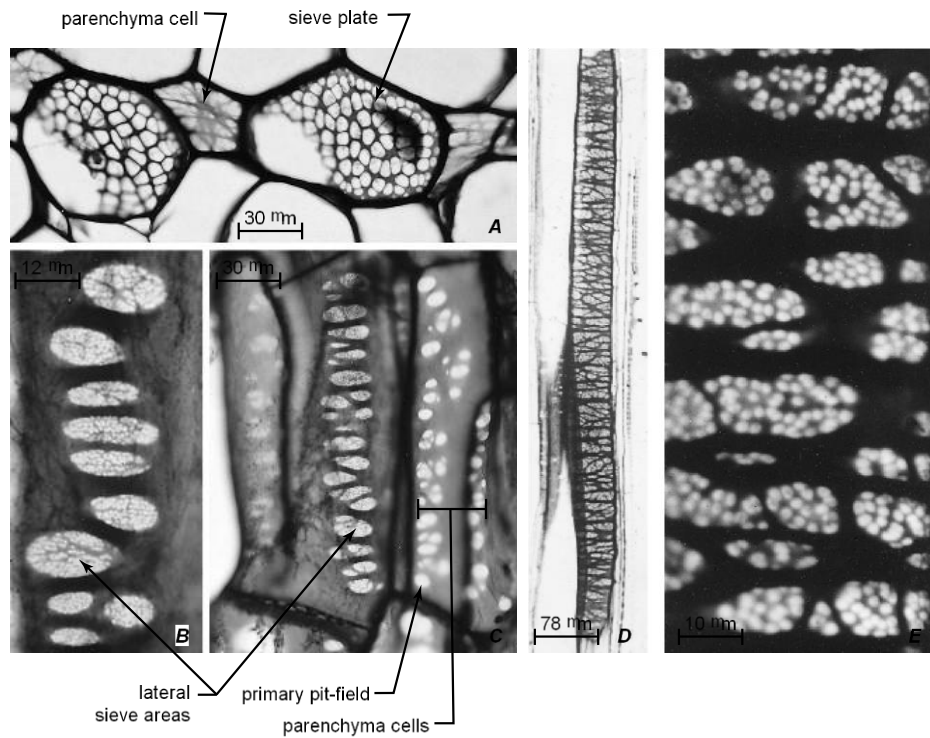
**Figura 42. Partes de los tubos cribosos (Esau, 1977).**

## Células anexas y albuminíferas

En angiospermas se observan acompañando a cada miembro de un tubo criboso las células anexas, también denominadas células anexas o acompañantes (**Figura 43**). Son elementos parenquimáticos, variables en tamaño, contienen numerosas mitocondrias, retículo endoplásmico rugoso, plastidios y un núcleo prominente. Una o más células acompañantes pueden estar asociadas con un solo elemento del tubo criboso, con quien están comunicadas mediante numerosas conexiones citoplasmáticas, consistiendo de un poro del lado de la pared celular del elemento del tubo y muchas ramificaciones plasmodésmicas del lado de la célula acompañante. Las células acompañantes juegan un papel importante en el mantenimiento de un gradiente de presión en los tubos cribosos.

El funcionamiento del floema en la distribución de fotoasimilados a través de la planta depende de la cooperación entre los elementos del tubo criboso y sus células acompañantes (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

En gimnospermas, los elementos cribosos están acompañados por células parenquimáticas llamadas células albumíferas o células de Strasburger, las cuales son análogas a las células acompañantes; la principal característica que distingue a éstas de las otras células parenquimáticas del floema, son sus conexiones simplásticas con las células cribosas. Contienen numerosas mitocondrias y grandes poblaciones de ribosomas (polisomas). Probablemente el papel de las células de Strasburger sea similar al de las células acompañantes, el mantenimiento de sus elementos cribosos asociados( 2 4, 8, 11,17, 23 y 25).



**Figura 43. Células anexas cribosas (Esau, 1977).**

## Xilema y floema primarios

En tallos herbáceos el xilema y el floema se encuentran estrechamente asociados y generalmente están organizados en columnas llamadas haces vasculares, separados por tejido parenquimático, llamado parénquima interfascicular. En dicotiledóneas se presentan haces vasculares abiertos, donde comúnmente algunas células del procambium permanecen indiferenciadas entre el xilema y el floema primarios y después funcionan como cambium vascular, originando xilema y floema secundarios. En monocotiledóneas, son característicos los haces vasculares cerrados al crecimiento secundario, en los cuales todas las células del procambium se convierten en elementos vasculares primarios. En

raíces herbáceas el xilema y el floema primarios están organizados formando arcos y en tallos, hojas, flores y frutos, forman haces vasculares (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

Con base en la posición del xilema y el floema dentro de un haz vascular, se pueden reconocer diferentes tipos: haz vascular colateral, donde el floema se encuentra situado hacia el córtex, y el xilema hacia la médula; haz vascular bicolateral, el floema está situado tanto en el lado externo como en el interno del xilema y haz vascular concéntrico, ya sea que el xilema o el floema están completamente rodeados uno del otro, si el xilema rodea al floema se le llama haz vascular anfivasal y haz vascular anficribal, si el floema rodea al xilema. En angiospermas dicotiledóneas, los haces vasculares se encuentran embebidos en tejido parenquimático y están arreglados en un anillo cercano a la periferia del tallo. En contraste, en monocotiledóneas los haces vasculares generalmente aparecen dispersos en el tejido fundamental. El xilema primario está conformado por elementos traqueales (traqueidas y/o elementos de los vasos), fibras y parénquima. En relación a su desarrollo consiste de la primera parte formada, el protoxilema, y la última parte formada, el metaxilema. Aunque estas dos partes tienen algunas características que los distinguen, convergen imperceptiblemente y su delimitación puede ser únicamente una aproximación (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

El protoxilema se diferencia en las partes del cuerpo primario de la planta que no han terminado su crecimiento y diferenciación. Se distingue por poseer elementos que sólo tienen paredes con engrosamientos anulares o helicoidales. En el tallo y hojas, el protoxilema generalmente madura antes de que estos órganos lleguen a tener una intensa

elongación. Por lo general, contiene relativamente pocos elementos traqueales, embebidos en parénquima, el cual se considera como parte del protoxilema (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

Cuando los elementos traqueales se destruyen pueden ser obliterados por las células de parénquima que los rodean. En tallos de muchas monocotiledóneas, los elementos del protoxilema no funcionales son colapsados parcialmente pero no obliterados; en su lugar aparecen canales, llamados lagunas de protoxilema, rodeadas de células de parénquima (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

El metaxilema es el componente que se diferencia posteriormente conforme el órgano alcanza su tamaño máximo, se diferencia por la mezcla de sus distintos engrosamientos de la pared celular: escaleriforme, escaleriforme-reticulado o punteado. El metaxilema es más complejo que el protoxilema, además de tener elementos traqueales que generalmente son más anchos, y células de parénquima. En adición a los elementos traqueales y células de parénquima, el metaxilema puede contener fibras (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

Las células de parénquima pueden estar dispersas entre los elementos traqueales o pueden presentarse en hileras radiales. Los elementos traqueales del metaxilema pueden permanecer cuando se detiene el crecimiento primario, pero dejan de funcionar cuando se diferencia el xilema secundario. En las plantas que no tienen crecimiento secundario, el metaxilema permanece funcional en los órganos de la planta madura (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

El protofloema es el tejido que se desarrolla en una etapa ontogenética temprana y madura antes de que termine el crecimiento del órgano; los tubos cribosos del

protofloema sólo son activos durante un corto periodo de tiempo y sus células pronto dejan de ser funcionales. En muchos tallos de dicotiledóneas, después de la destrucción de los elementos de los tubos cribosos, el parénquima del protofloema permanece y sus células se diferencian en fibras. El metafloema se desarrolla en una etapa ontogenética más tardía. En los elementos de los tubos cribosos de las gimnospermas no se diferencian cribas y en los de muchas angiospermas no hay células anejas (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

## **Xilema y floema secundarios**

Todas las gimnospermas y angiospermas leñosas desarrollan meristemas laterales, el cambium vascular y el cambium suberoso, que les permiten incrementar continuamente el grosor de sus tallos y raíces, es decir, presentan un crecimiento secundario. El cambium vascular es un meristemo bifacial que produce internamente un cilindro de xilema secundario (leño o madera) y externamente un cilindro de floema secundario. La proporción de xilema producido, generalmente es mayor que la de floema y no se conoce un cambium parecido en monocotiledóneas (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

La estructura típica del xilema y floema secundarios es la existencia de dos sistemas de elementos celulares que se distinguen por la orientación de sus ejes longitudinales (2 4, 8, 11,17, 23 y 25):

**El axial (longitudinal o vertical)**, donde las células están orientadas con sus ejes mayores paralelos al eje del tallo. En el xilema está formado por: vasos, traqueidas, fibras y parénquima axial; este último sirve como tejido de reserva de sustancias como almidón y grasas o puede presentar taninos, inclusiones cristalinas y otras sustancias. En el floema

está formado por tubos cribosos, parénquima axial y fibras. **El radial (transversal u horizontal)**, donde las células están orientadas con sus ejes mayores en ángulo recto con respecto al eje del tallo. Este sistema comprende los radios medulares o rayos, los cuales pueden ser uniseriados o multiseriados. En el xilema de gimnospermas está formado por radios de traqueidas y parénquima, en angiospermas por radios de parénquima. En el floema está formado por radios del parénquima que son continuación de los radios del xilema (2 4, 8, 11, 17, 23 y 25).

## **Xilema secundario**

El xilema secundario constituye la madera, básicamente está formado por los mismos elementos celulares que el xilema primario, pero la presencia, la distribución y el tamaño de éstos varían entre los diferentes grupos vegetales o en la época del año en que se forman los tejidos, como se observa en tallos de plantas leñosas que crecen en climas templados, donde existen diferencias en los elementos traqueales y fibras. Los elementos traqueales producidos en primavera (leño o madera de primavera) son mucho más largos y con paredes más delgadas que los producidos en verano que tienen pared engrosada (leño tardío o madera de invierno). La actividad del cambium es periódica y el xilema que se produce durante un periodo de crecimiento forma una capa de crecimiento o anillo de crecimiento. Si una capa de crecimiento representa una estación del año, se le puede llamar anillo anual; sin embargo, cambios abruptos en la disponibilidad de agua y otros factores ambientales pueden ser responsables de la producción de más de un anillo en un año. Aunque esto también puede resultar por daños provocados por insectos, hongos, o



el fuego; estas capas de crecimiento adicionales se llaman falsos anillos anuales (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

La amplitud de los anillos de crecimiento puede variar mucho año con año, de acuerdo a factores ambientales como luz, temperatura, lluvia, agua disponible en el suelo y la duración de la estación de crecimiento. El grosor de un anillo de crecimiento puede ser un índice bastante exacto de la lluvia en un año particular. Bajo condiciones favorables de lluvia, los anillos de crecimiento son más anchos, bajo condiciones desfavorables son más delgados. El reconocimiento de esta relación permitió el desarrollo de la Dendrología, que estudia patrones de crecimiento anuales en árboles y usa la información en la investigación histórica para evaluar fluctuaciones del clima en el pasado y otros eventos (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

En el xilema secundario, tanto las células del parénquima axial como el radial localizadas junto a los vasos, pueden formar excrecencias a través de las cavidades de las punteaduras hacia el lumen de los vasos cuando éstos son inactivos y pierden su presión interna. Estas excrecencias se llaman tylos y las células del parénquima que las originan se llaman células de contacto (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

Los tylos pueden ser tan numerosos que pueden llenar completamente el lumen celular de los elementos del vaso. En algunas maderas, aparecen cuando los vasos dejan de funcionar, pero con frecuencia su formación prematura se induce por la presencia de patógenos, sirviendo como mecanismo de defensa al inhibir la dispersión del patógeno a través de la planta vía xilema. La capacidad de las diferentes plantas para la formación de tylos es la resistencia al patógeno (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

## **Diferencias entre el xilema secundario de Gimnospermas y de Angiospermas**

### **Gimnospermas**

La estructura del xilema secundario de las gimnospermas es más sencilla y homogénea que la de las angiospermas. La principal diferencia radica en la ausencia de vasos y fibras en la mayoría de las gimnospermas, excepto en Gnetales, y la presencia de traqueidas con punteaduras areoladas en su pared secundaria, apareciendo como los elementos más abundantes, constituyendo el 90% de su volumen xilemático. En las traqueidas esporádicamente se presentan excrescencias filamentosas de la pared, llamadas trabéculas, las cuales nacen de sus tabiques tangenciales y atraviesan el lumen celular hasta conectar las paredes tangenciales entre sí (2, 4, 8, 11, 17, 23 y 25).

Otra característica notable de este grupo es la escasa cantidad de parénquima que tienen; las células de este tejido sirven como elementos conductores y de almacenamiento; la mayoría de las gimnospermas presentan radios uniseriados, excepto en aquellas especies en las que la presencia de canales resiníferos transversales ensanchan el radio. Los radios pueden estar formados sólo por células parenquimáticas, conformando radios homocelulares o también por traqueidas, conformando radios heterocelulares.

Los canales resiníferos son espacios huecos intercelulares desarrollados de modo esquizógeno en las células de parénquima, en el que vierten la resina las células que forman sus paredes, llamadas células resinógenas o productoras de resina. Durante su

desarrollo, los canales resiníferos forman un revestimiento, el epitelio, generalmente rodeado por una vaina de parénquima axial, referida como células de la vaina, células acompañantes o células subsidiarias; estos canales pueden ser normales o fisiológicos, presentes de forma natural en la estructura de la madera; pueden ser traumáticos, originados como respuesta a heridas o daños causados por el fuego o viento; provocado por agentes patológicos. Podemos diferenciarlos por su constancia en los anillos de crecimiento: los fisiológicos se presentan en todos los anillos de crecimiento, mientras que los traumáticos solo están en uno o varios anillos (2 4, 8, 11, 17, 23 y 25).

En muchas gimnospermas los canales resiníferos y por lo tanto la producción de resina, también se presentan en el floema y la corteza, además del xilema. Uno de los usos mas antiguos de la resina fue como incienso, otras resinas ampliamente utilizadas son el mastique y la laca. El ámbar es una resina terpenoide fosilizada muy apreciada (2 4, 8, 11, 17, 23 y 25).

## **Angiospermas**

La estructura del xilema secundario de las angiospermas es más compleja que en gimnospermas; en las dicotiledóneas está formado por traqueidas, elementos de los vasos, parénquima axial, parénquima radial y fibras. Sin embargo, algunas dicotiledóneas incluidas en algunos géneros de la familia Magnoliaceae carecen de vasos. En la madera de algunas dicotiledóneas se presentan espacios intercelulares o canales, los cuales pueden contener productos secundarios como aceites, látex, gomas y resinas. Se presentan tanto en el sistema axial como en el radial y varían en extensión, algunos son llamados, más apropiadamente, cavidades intercelulares. Los canales y las cavidades pueden ser

esquizógenos, pero si se forman en respuesta a un daño (cavidades o canales traumáticos) comúnmente son lisógenos (2 4, 8, 11, 17, 23 y 25).

La cantidad de parénquima en el xilema secundario varía, pero es más abundante en angiospermas que en gimnospermas. En cuanto a la distribución del parénquima axial, se pueden distinguir dos tipos: apotraqueal, cuya posición es independiente de los vasos y el paratraqueal, donde las células del parénquima están en contacto con los vasos. Los radios son uniseriados o multiseriados y pueden ser homocelulares o heterocelulares (2 4, 8, 11, 17, 23 y 25).

Las células de parénquima axial y radial, forman un extenso continuo del simplasto, que penetra el tejido vascular y es una vía continua desde los rayos de xilema al floema. Las células del radio, que están conectadas a través de punteaduras con elementos traqueales, funcionan como células de contacto que controlan el intercambio de solutos (minerales, carbohidratos y sustancias orgánicas nitrogenadas) entre el parénquima de almacén y los vasos. Típicamente, las células de contacto no funcionan como células de almacén, aunque pueden encontrarse pequeñas cantidades de almidón cierto tiempo del año. Las células del parénquima del radio y el axial que no están en contacto con los vasos, son las que funcionan como elementos de almacén. Las células de contacto son análogas a las células acompañantes que sirven en el intercambio de azúcar con los elementos cribosos en el floema. Éstas difieren de las células acompañantes en la presencia de paredes celulares lignificadas y una capa protectora pecto-celulósica, la cual está implicada en la formación de tylos. Otra diferencia es que en las células de contacto no hay plasmodesmos en las

punteaduras de contacto, mientras las células acompañantes son numerosas entre las paredes comunes con los elementos cribosos (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

## **Floema secundario**

Generalmente, se desarrolla en menor proporción comparado con el xilema secundario, variando el porcentaje de floema secundario funcional de acuerdo a la planta, la edad del órgano y las condiciones ambientales. Con la actividad del cambium vascular se va incrementando la cantidad de floema secundario, lo que provoca que el floema que se formó primero sea desplazado hacia fuera y sus células sean deformadas y aplastadas llegando a ser no funcionales; en muchas plantas únicamente el floema secundario más reciente es funcional. Muchas coníferas y angiospermas leñosas presentan el floema secundario dividido en anillos de crecimiento, aunque estas divisiones son menos evidentes que en el xilema secundario y pueden perderse por las condiciones de crecimiento. Muchas gimnospermas y angiospermas forman bandas tangenciales de fibras. Los radios del floema son continuos a los radios del xilema, puesto que ambos surgen de un grupo común de radios iniciales en el cambium. Cerca del cambium los rayos de xilema y de floema usualmente son idénticos en largo y ancho; sin embargo, las partes más viejas de los radios del floema pueden incrementar en amplitud, algunas veces de forma considerable (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

## **Diferencias entre el floema secundario de Gimnospermas y de Angiospermas**

### **Gimnospermas**

Igual que el xilema, la estructura del floema secundario de las gimnospermas es más sencilla y homogénea que la de las angiospermas. El floema secundario está formado por elementos cribosos, fibras, esclereidas, células parenquimáticas normales y algunas veces albuminíferas; también pueden presentarse canales resiníferos. En contraste con las angiospermas, en el floema de las coníferas, el sistema axial consiste principalmente de elementos cribosos. Las células parenquimáticas normales forman radios floemáticos uniseriados en el sistema horizontal, almacenan almidón en ciertas épocas del año y muchas contienen resinas, taninos y cristales comúnmente de oxalato de calcio. Se ha visto que las sustancias polifenólicas encontradas en el parénquima axial de *Picea abies* juega un papel importante en la defensa contra organismos invasores como el hongo de la mancha azul. En los tallos de coníferas, los cristales junto con las hileras de fibras, proveen una barrera efectiva contra pequeños insectos barrenadores de la corteza. La formación de canales resiníferos puede ser una respuesta a daños mecánicos o químicos o a ataques de insectos y patógenos. Estos canales forman redes tangencialmente anastomosadas (24, 8, 11, 17, 23 y 25).

## Angiospermas

El floema secundario de angiospermas muestra una amplia diversidad de patrones de arreglo de las células y mayor variación en los componentes que el de gimnospermas. Está formado por elementos cribosos, fibras, esclereidas, células parenquimáticas normales y células anexas, cavidades secretoras esquizógenas o lisígenas, tubos laticíferos y otras células que contienen sustancias especiales. En el sistema horizontal, las células parenquimáticas normales forman radios de tamaño variado, uniseriado o pluriestratificado. Una de las diferencias más conspicuas en la apariencia de la corteza y del floema secundario de diferentes especies resulta de la distribución de las fibras; los patrones formados por ellas son útiles para la identificación de las especies. Transporte de fitohormonas a través del xilema y del floema Entre las fitohormonas que son transportadas vía floema están: La sistemina, secretada por células dañadas, es trasladada hacia las hojas no dañadas para activar la defensa química contra herbívoros. La auxina ácido-3-indolacético (AIA), sintetizada en las células meristemáticas de ápices de tallos y raíces, es transportada hacia otras partes de la planta (2 4, 8, 11, 17, 23 y 25).

Giberelinas, sintetizadas en las partes aéreas pueden ser transportadas a través de la planta. Tienen efectos dramáticos en la elongación de tallos y hojas estimulando la división y elongación celular; son esenciales para la germinación en muchas especies de plantas. Las semillas y frutos en desarrollo contienen altos niveles de éstas; en cereales regulan la producción y secreción de la enzima  $\alpha$ -amilasa permitiendo la hidrólisis del almidón

almacenado en el endospermo. Ácido abscísico, es sintetizado en casi todas las células que contienen amiloplastos o cloroplastos, es transportado vía floema y xilema, aunque generalmente es más abundante en la primera. Los niveles de ácido abscísico aumentan durante el inicio del desarrollo de la semilla en muchas especies de plantas, estimulando la producción de proteínas de almacén y previniendo la germinación prematura. Entre las fitohormonas que son transportadas vía xilema están las citocininas, sintetizadas por las células meristemáticas de raíces; éstas se distribuyen desde ahí hacia las partes aéreas y promueven la división celular. El transporte de auxinas también se presenta en la región del cambium vascular en vegetales que presentan crecimiento secundario (2, 4, 8, 11, 17, 23 y 25).

## **Notas de interés**

Se llama madera al conjunto de tejidos del xilema que forman el tronco, las raíces y las ramas de los vegetales leñosos de ciertas dimensiones. La madera ha sido utilizada por el hombre de diversas formas: en la construcción, elaboración de papel, obtención de leña y como recurso medicinal, entre otras. Se estima que actualmente, la mitad de la madera se consume fundamentalmente como combustible y la otra mitad se considera como madera de rollo industrial dedicada a la construcción y otros usos. Los vegetales leñosos comercialmente maderables se encuentran entre las gimnospermas y angiospermas dicotiledóneas, siendo las primeras la fuente principal. Las monocotiledóneas arborescentes, no producen un cuerpo homogéneo comercialmente importante de xilema secundario, sin embargo, algunas de ellas como el bambú, son más resilientes, que las



maderas de construcción convencionales y por mucho tiempo en el Oriente han servido como el principal material, “madera” estructural (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

La madera usualmente es clasificada en madera blanda, las de las coníferas, y madera dura, la de las angiospermas. Aunque estos dos tipos de madera tienen diferencias estructurales básicas, los términos blando y duro no expresan con exactitud la densidad relativa (peso por unidad de volumen) o dureza de la madera. Por ejemplo, una de las maderas más suaves y ligeras es la de la balsa, *Ochroma lagopus*, una angiosperma. En contraste, la madera de *Pinus ellioti*, una gimnosperma, tiene madera más dura que algunas especies de angiospermas. El predominio de elementos largos y rectos en la madera de coníferas es muy adecuado para la elaboración de papel, donde es necesario flexibilidad y dureza. Muchas maderas duras comercialmente usadas, son especialmente fuertes, densas y gruesas, por la alta proporción de fibrotraqueidas y fibras libriformes (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

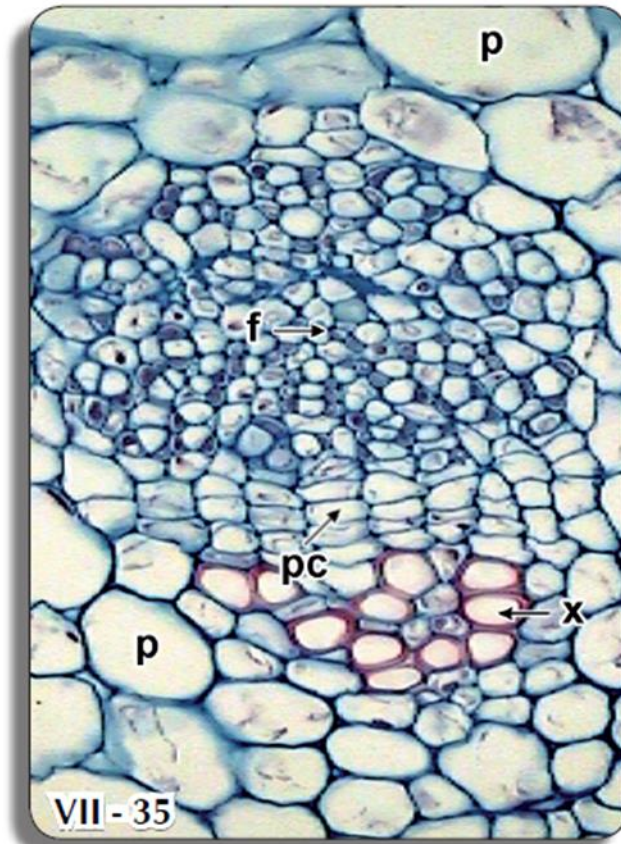
El leño forma la mayor parte del tronco y presenta diferencias fácilmente apreciables en las coníferas y en algunas angiospermas. Los anillos anuales o estacionales pueden ser de diferente color, una vez más oscuros y otras más claros. Cuando son muy delgados o de color semejante al resto de los tejidos, no son visibles, pero en general, se distinguen con facilidad a simple vista, por lo que son útiles para conocer la edad del árbol y para apreciar la clase y calidad de la madera. En los anillos de crecimiento puede haber ondulación, defecto que no se presenta regularmente; se les conoce como anillos festoneados, que en la madera aportan un veteado vistoso, característica muy apreciada en la madera empleada en la fabricación de instrumentos musicales (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

Otras figuras producidas por deformación y constitución anormal de los tejidos en ciertas partes del árbol, que son aprovechadas en la elaboración de objetos, entre ellos diversas artesanías, son las encontradas en zonas del tronco como horquetas, cepas, lupas y verrugas. Por lo irregular de la fibra que se produce en ellas, al cortarlas dan las apreciadas y decorativas piezas que se conocen con el nombre genérico de madera de trepa. Las lupas son de extraordinaria belleza y valor, estas figuras proceden de grandes abultamientos producidos en distintas partes de los troncos y su origen puede ser natural debido a estímulos exteriores como heridas, picaduras de insectos, irritaciones, inserción de ramas y especialmente raíces, o también provocadas por la acción del hombre. En Argelia, durante los siglos XVI y XVII, se obtenían quemando repetidamente el tronco del árbol o utilizando aros metálicos fuertemente apretados. Las verrugas son pequeñas excreciones leñosas formadas por yemas durmientes, que pierden su adherencia con la madera y crecen de forma endógena. Cuando hay una serie de verrugas muy próximas, resulta una superficie muy rugosa en el tronco. Esta madera es de características especiales, generalmente muy dura y su sección presenta un dibujo característico muy valorado en ebanistería (2 4, 8, 11, 17, 23 y 25).

En muchos árboles y especialmente cuando son de edad avanzada, en la parte interna del tronco se distingue una zona más oscura y densa llamada duramen, de la zona que le rodea, mas clara, porosa y blanda llamada albura. Ésta última contiene células vivas y materiales de reserva y puede o no ser completamente funcional en la conducción de agua. El duramen se caracteriza por la ausencia de células vivas y sustancias de reserva, su formación, es un fenómeno normal en la vida de los árboles, originada por la muerte fisiológica debido a factores internos. Los diferentes cambios que se presentan durante la

formación del duramen no afecta la dureza de la madera, pero la hace más durable que la albura, menos atacada por organismos que producen pudrición por el taponamiento de las punteaduras y la impregnación de los tejidos con sustancias que tienen un cierto valor antiséptico, además de volverla resistente a los ataques de insectos y menos impermeable a varios líquidos incluyendo preservativos artificiales. Sin embargo, desde el punto de vista de los tratamientos, esto constituye un inconveniente para su impregnación artificial o su tratamiento con productos químicos. La albura es más fácil de tratar y de trabajar en la mayor parte de los procesos de elaboración y desintegración mecánica. Por ello, y siendo la duraminización un proceso que se produce con los años, se prefiere en la industria desintegradora maderas jóvenes (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).

Por otra parte, para la identificación de las maderas, en general se utilizan características macroscópicas y microscópicas, así como su aroma y sabor. En angiospermas, por la complejidad de la estructura de su madera pueden utilizarse muchas características para su identificación; algunas de las principales son: tamaño y distribución de los vasos; el arreglo y abundancia de parénquima; presencia o ausencia de fibras septadas; tamaño y tipos de radios; tipos de placas de perforación en los vasos y abundancia, arreglo y tamaño de cristales (2 4, 8, 11,17, 23 y 25).



**Figura 44.** Brassica oleraceae. Dicotyledoneae. Sección transversal de tallo 400x. Parénquima (p), floema (f), procambium (pc), xilema (x). Fuente: (Azacarraga y et al, 2010)

**Actividad a desarrollar por el alumno (Floema).**

- ✓ Observa y dibuja 7 laminillas de floema de diferentes plantas
- ✓ Indica los tipos de floema que distingues en las laminillas

## IX. RAÍZ

En esta unidad está estructurada de la siguiente manera:

- Resumen de la unidad
- Tipos de tejidos que forman a la raíz
- Origen
- Estructura
- Formas de reconocimiento de los órganos vegetales
- Notas de interés
- Actividades para el alumno

Esta Unidad de mersitemos esta relacionda con la Unidad IX del programa de Anatomia de plantas Cultivadas

### Resumen

La raíz es el órgano que forma la porción inferior del cuerpo vegetal; generalmente es subterráneo, aunque existen raíces que se desarrollan en la parte aérea de la planta. Presenta variación en su forma, dependiendo en muchos casos de su función y de las condiciones ambientales donde se desarrollen las plantas. Dentro de sus funciones, las principales son la fijación al substrato y la absorción de agua y de sales minerales, también sirve como órgano de almacén de agua y sustancias de reserva como el almidón, de aireación (pneumatóforos), de apuntalamiento, o está asociada a hongos simbióticos

(micorrizas) que aumentan su capacidad de absorción o con bacterias fijadoras de nitrógeno que forman nódulos en ella.

## Origen

Al conjunto de raíces producidas por una planta se le conoce como sistema radical, éste comienza su desarrollo a partir de la radícula embrionaria que emerge de la semilla y forma la raíz primaria la cual se va ramificando con el surgimiento de raíces laterales a partir del tejido llamado periciclo, que se encuentra en las zonas de la raíz relativamente maduras. Las raíces que se desarrollan de otros tejidos de las raíces maduras, hojas y tallos, se les llama raíces adventicias (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

Estructura de raíces con crecimiento primario El ápice de las raíces está protegido por un conjunto de células parenquimáticas organizadas llamado caliptra o cofia que cubren la zona meristemática (ver capítulo de tejidos meristemáticos) donde se están dividiendo y formando nuevas células; enseguida de esta zona se encuentra un sistema de tejidos que se van diferenciando paulatinamente, éstos son: la epidermis, los tejidos que forman el córtex y el cilindro vascular también llamado cilindro central (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41)..

## Caliptra o cofia

Es la zona que se encuentra en los extremos de todas las raíces, excepto en raíces de ciertas plantas parásitas y algunas que forman micorrizas; se desarrolla continuamente y

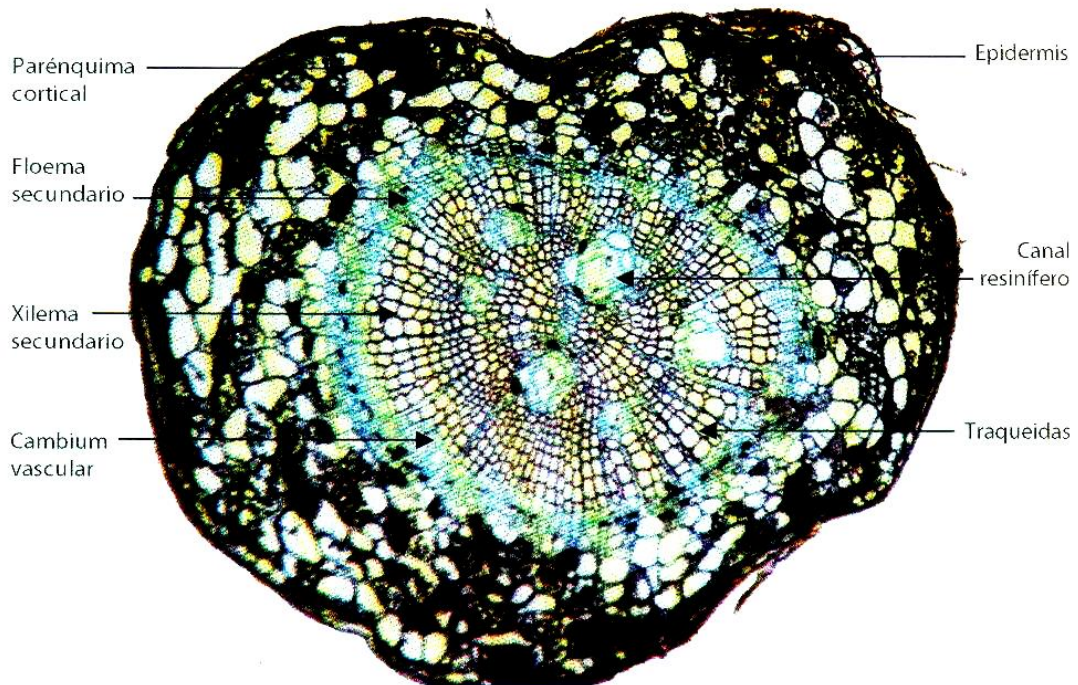
consta de células parenquimáticas vivas que comúnmente contienen almidón; sus células periféricas son las encargadas de producir y secretar mucílago que le ayuda en la penetración al suelo, la protege contra agentes nocivos, previene la desecación del meristemo radical e interviene en la absorción. Las células más externas de la caliptra mueren, se desintegran y son reemplazadas por otras células nuevas. En muchas plantas, las células centrales de la cofia forman una estructura más diferenciada que recibe el nombre de columela, donde las células están ordenadas en columnas longitudinales y contienen amiloplastos, también llamados estatolitos, con una distribución polar; por ello se les atribuye el control del crecimiento geotrópico de la raíz. Por su alto contenido de almidones, los amiloplastos tienen un alto peso molecular, particularidad que les permite percibir la gravedad, desencadenando en la célula la actividad de las auxinas sobre su crecimiento(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

## **Epidermis**

Es el tejido más externo de la raíz, generalmente formado por una sola capa de células que poseen paredes delgadas y normalmente tienen una cutícula muy delgada o carecen de ella, las raíces subterráneas tienen cutícula delgada y no tienen estomas, pero pueden desarrollar cutícula gruesa y estomas cuando se exponen a la luz del sol. En orquídeas y aráceas epífitas, la epidermis es multiseriada y se le llama velamen. En la epidermis (**Figura 45**) se presentan unas células llamadas tricoblastos, de las que surgen los pelos radicales o absorbentes, adaptados para llevar a cabo la absorción de agua y iones del suelo; éstos



carecen de cutícula y generalmente se encuentran restringidos a una zona que mide unos pocos centímetros a partir del ápice de las raíces, faltan a nivel del meristemo apical, y normalmente mueren en las porciones maduras de la raíz (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41)..



**Figura 45. Raíz de *Pinus***

En la raíz de ciertas plantas se forma, por debajo de la epidermis, una o varias capas de células suberizadas llamada hipodermis o exodermis; en ocasiones puede presentarse en su cara interna tejido esclerenquimático. La exodermis es un tejido protector característico de plantas que crecen en hábitats xéricos o en raíces superficiales, su presencia reduce el flujo del agua hacia fuera, evitando su pérdida; sus células contienen protoplastos viables y la pared celular puede estar constituida por suberina, celulosa; a menudo, por depósitos de lignina, y en algunos casos se distinguen bandas de Caspary(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41)..

## **Pelos radicales**

Los pelos radicales son protusiones de la pared externa de células rizodérmicas (epidermis). De estas células, sólo aproximadamente la mitad forman pelos radicales, uno por cada célula. Los pelos radicales no se desarrollan en todas las plantas, ni bajo todas las condiciones, como en el caso de las magnoliales y las orquídeas que no los presentan (aunque en las células más externas del velamen se pueden originar pelos radicales) o pueden tenerlos suprimidos por micorrizas como en eucaliptos; nunca son abundantes en gimnospermas: no se han encontrado en Araucariaceae, Taxodiaceae y Cupressaceae; las plantas acuáticas sumergidas, con excepciones, generalmente también están desprovistas de pelos radicales. El desarrollo de pelos radicales ha sido utilizado como evidencia de parentesco entre géneros de gramíneas. Los pelos radicales típicos tienen una forma cilíndrica desarrollándose en ángulo recto a la superficie de la raíz, generalmente no son

ramificados, únicamente en pocas plantas pueden ramificarse o tener forma de orquilla. El tamaño de los pelos radicales se ve afectado por el pH, concentraciones de iones, propiedades físicas del suelo, humedad relativa y por microorganismos de la rizosfera. En cualquier especie, el tamaño del pelo es relativamente constante, aunque los pelos son más largos en raíces expuestas al aire húmedo que aquéllas que crecen en el suelo o que están inmersas en el agua(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

Los pelos radicales generalmente son efímeros o estructuras transitorias y llegan a desgastarse después de unas pocas horas o días o semanas; sin embargo, en ciertas plantas pueden persistir por varios años. La presencia de pelos radicales siempre está correlacionada con la ausencia de crecimiento secundario en la raíz y el crecimiento secundario marca la desaparición de pelos radicales. Generalmente están confinados a una zona de pelos radicales de la planta que mide de 1 a 4 cm de longitud, situada enseguida de la zona activa de crecimiento (fig. VIII-2). No obstante, en ciertas plantas, no hay una zona de pelos radicales definida (4, 5, 6,15, 16, 38 y 41)..

## **Funciones fisiológicas de los pelos radicales**

Las principales funciones que se le han atribuido a los pelos radicales son (4, 5, 6,15, 16, 38 y 41):

La absorción de agua y nutrientes, así como la propiedad de adhesión entre la raíz y su alrededor. La absorción de agua es llevada a cabo principalmente por pelos radicales jóvenes y disminuye cuando el pelo radical madura. Además se ha visto que la absorción

de agua en el pelo radical está confinada generalmente en la punta. Están involucrados en la absorción de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  y  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ . Las raíces de angiospermas primitivas, tipificadas por aquéllas del orden de las Magniliales, son especialmente dependientes de los hongos micorrízicos vesículo-arbuscular para la absorción de minerales. Las micorrizas están presentes en todas las gimnospermas, en un 83% de las dicotiledóneas y en un 79% en monocotiledóneas. Los pelos radicales están involucrados en la entrada de microorganismos fijadores de nitrógeno en el sistema radical, como en el caso de las leguminosas fijadoras de nitrógeno. Se cree que la capa de material mucilaginoso, el mucigel, presente en los pelos radicales, mejora la capacidad de captación de agua por la raíz realzando el contacto o adhesividad entre los pelos radicales y las partículas del suelo, además provee un medio favorable para el crecimiento de microorganismos. La resistencia a la sequía en *Ferocactus acenthodes* y *Opuntia ficus-indica*, se atribuye principalmente a la formación de una vaina de suelo en la zona de pelos radicales (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

Existe evidencia de que una función importante de los pelos radicales es ayudar a la difusión de oxígeno dentro de las raíces, sirviendo como lo hacen los estomas y lenticelas en las partes aéreas. Los pelos radicales actúan como un circuito corto para el aire del suelo, permitiendo aumentar la tasa de respiración en pelos radicales y agilizar relativamente e incrementar el transporte de ATP u oxígeno (o ambos) para los órganos subterráneos. Se ha considerado la posibilidad de que las raíces puedan obtener  $\text{O}_2$  desde la atmósfera, no únicamente vía suelo, sino también internamente vía partes aéreas (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

## **Córtex**

En la mayoría de dicotiledóneas y gimnospermas, el córtex está conformado principalmente por parénquima, cuyas células presentan pared celular delgada y con frecuencia almacenan almidón y a veces partículas de proteína o glóbulos de grasa; en muchas monocotiledóneas, además del parénquima, se presenta abundante esclerénquima. En el córtex también pueden presentarse colénquima, como en raíces aéreas, o células secretoras, conductos resiníferos y laticíferos, espacios intercelulares esquizógenos y canales aéreos. La capa más interna del córtex es compacta y carece de espacios aéreos formando una endodermis (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

## **Endodermis**

Representa el límite interno del córtex, consta generalmente de un cilindro uniseriado de células y se desarrolla en todas las plantas vasculares con pocas excepciones. En el estado primario se deposita suberina formando delgadas bandas en las paredes radiales y transversales de las células endodérmicas que se les conoce como bandas de Caspary, cuya función es regular el flujo de iones y agua hacia dentro del cilindro vascular y evitar la salida de los mismos. En algunas plantas, unas cuantas células de la endodermis, conocidas como células de paso, permanecen con su pared celular delgada y poco suberizada, éstas se sitúan típicamente opuestas a los cordones de protoxilema. En ciertas angiospermas que no tienen un crecimiento secundario; en la cara interna de toda la pared primaria,

incluso en las bandas de Caspary, se desarrolla una lamela de suberina casi continua y, posteriormente, por dentro de esta lamela de suberina se deposita una capa de celulosa, esto es frecuente en las raíces de la mayoría de las monocotiledóneas (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

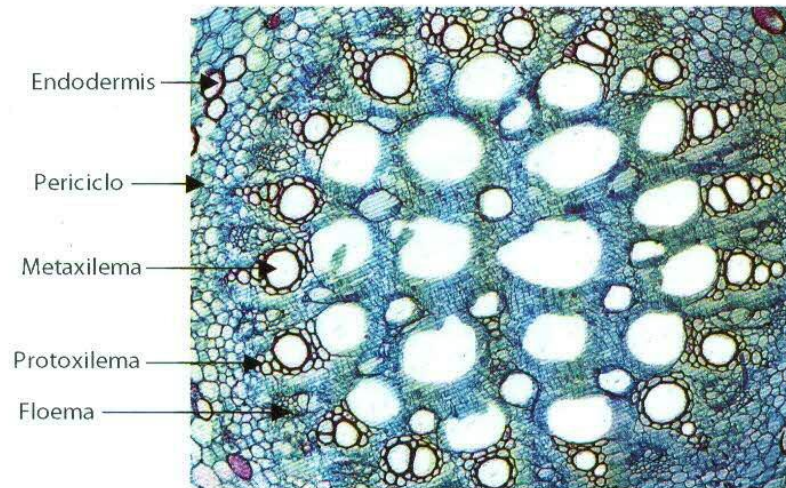


Figura 46. Raíz de Monstera

## Cilindro vascular

Ocupa la porción central de la raíz y en ella tiene límites más precisos con el córtex que en el tallo, debido a la presencia de endodermis. En el cuerpo primario de angiospermas, el cilindro vascular consta de una región de células, el periciclo que rodea a un cuerpo central de xilema primario, con apariencia estrellada en secciones transversales, o formando cordones que alternan con grupos de floema primario, ambos asociados con parénquima(4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

El desarrollo del xilema primario es exarco, esto es, que los primeros elementos traqueales (protoxilema) que se forman y están localizados hacia fuera, próximos al periciclo y los últimos formados (metaxilema) son internos, haciéndose entonces la diferenciación del xilema en la raíz primaria en sentido centripeto; igual que el floema, en el cual el protofloema aparece cerca del periciclo y el metafloema más internamente en el cilindro vascular. Este patrón de diferenciación vascular normalmente se lleva a cabo en monocotiledóneas y dicotiledóneas, aunque hay excepciones (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41)..

Los términos monarca, diarca, tetrarca y poliarca hacen referencia al número de grupos de protoxilema que haya en la raíz: 1, 2, 3 o más, respectivamente. La raíz de monocotiledóneas, típicamente tiene numerosas arcos de protoxilema alternando con pequeños grupos de floema, siendo por lo tanto poliarca; también posee una médula esclerificada. Las dicotiledóneas generalmente son di, tri o tetrarcas, pero hay excepciones. El periciclo conserva sus características meristemáticas y consta generalmente de una o más capas de células parenquimáticas de paredes delgadas, puede diferenciarse completamente antes de la lignificación de los elementos del protoxilema (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

Los primordios de todas las raíces laterales en todas las espermatofitas, el felógeno y porciones del cambium vascular en las dicotiledóneas, se desarrollan a partir del periciclo; los elementos más externos del protoxilema en las raíces de muchas gramíneas y ciperáceas pueden diferenciarse en la zona del periciclo. En gimnospermas, el periciclo suele ser multiseriado, en la mayoría de las angiospermas y en raíces jóvenes de monocotiledóneas es uniseriado, sin embargo, en raíces maduras de éstas últimas con

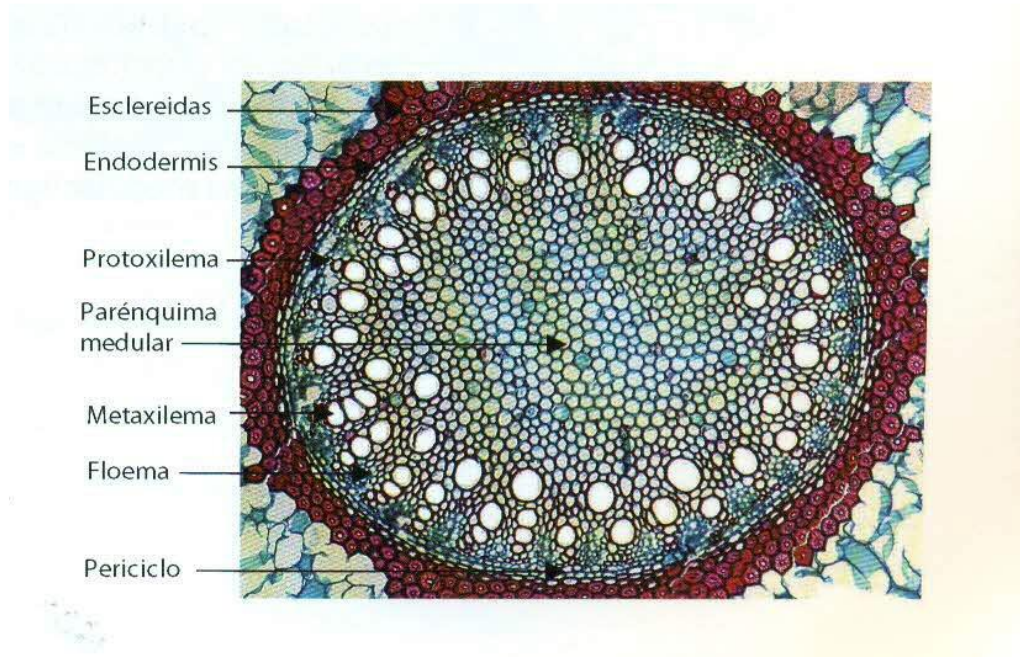
frecuencia se vuelve multiseriado y de paredes engrosadas. Estructura de raíces con crecimiento secundario El crecimiento secundario origina que el diámetro de las raíces aumente, debido a la actividad de los meristemos secundarios laterales, uno de ellos es el cambium vascular, responsable de producir el aumento en proporción de xilema y floema secundarios y el otro es el cambium suberoso o felógeno, productor de los tejidos protectores de la peridermis: felodermis y suber(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

El cambium vascular normalmente se origina de células del procambium que permanecen indiferenciadas entre el xilema y el floema primarios y de células del parénquima adyacentes a los polos de los cordones de protoxilema. Como resultado de la actividad del cambium vascular, se forman cilindros continuos de xilema secundario hacia adentro y floema secundario hacia fuera. En las primeras etapas del crecimiento secundario de algunas raíces, las células endodérmicas siguen dividiéndolos; en algunas gimnospermas y en muchas angiospermas permanece en su forma primaria y se desprende con el resto del córtex cuando tiene lugar el crecimiento secundario para formarse la peridermis(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

La peridermis resulta de la actividad del felógeno o cambium suberoso, tejido meristemático derivado de células del periciclo o de las partes más externas del córtex, como sucede en monocotiledóneas. La formación de la peridermis normalmente se lleva a cabo una vez iniciada la formación de los tejidos vasculares secundarios. Cualquiera que sea el origen del felógeno este siempre formará súber hacia el exterior y felodermis o córtex secundario hacia el interior. Además de su función como tejido protector, se



considera que la peridermis interviene en la absorción de agua, probablemente a través de las lenticelas(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).



**Figura 47. Raíz de *Asparagus***

## **Crecimiento secundario anómalo**

Como ya fue mencionado, en la mayoría de las raíces que presentan crecimiento secundario, se forma a partir del cambium vascular en su lado interno, un cilindro de xilema secundario y en su lado externo un cilindro de floema secundario; sin embargo, existen casos en que el engrosamiento de la raíz no presenta este arreglo, como es el caso del camote (*Ipomoea batatas*) donde, al inicio del desarrollo de la raíz, el xilema y el floema presentan gran cantidad de parénquima, pero conforme avanza su desarrollo, se forman varios cambia adicionales alrededor de vasos aislados o grupos de ellos, que originan sobre todo parénquima y un poco de floema, formándose más tarde, tejido

cambial secundario por fuera del cilindro vascular. En la jícama (*Pachyrhizus erosus*) se desarrolla abundante parénquima en el xilema. En la zanahoria (*Daucus carota*) el aumento en grosor solo se debe a la formación de una gran cantidad de parénquima de reserva en el xilema y principalmente en el floema. En el rábano (*Raphanus sativus*) hay desarrollo de abundante parénquima en la médula y en el xilema secundario, así como parénquima secundario producido por tejidos cambiales adicionales. En el betabel (*Beta vulgaris*) se presenta abundante parénquima y se forman varios anillos cambiales adicionales por fuera del cilindro vascular, éstos producen parénquima en el que están distribuidos algunos elementos conductores, los anillos están arreglados concéntricamente y se originan a partir del periciclo y del floema(4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

## **Nota de interés**

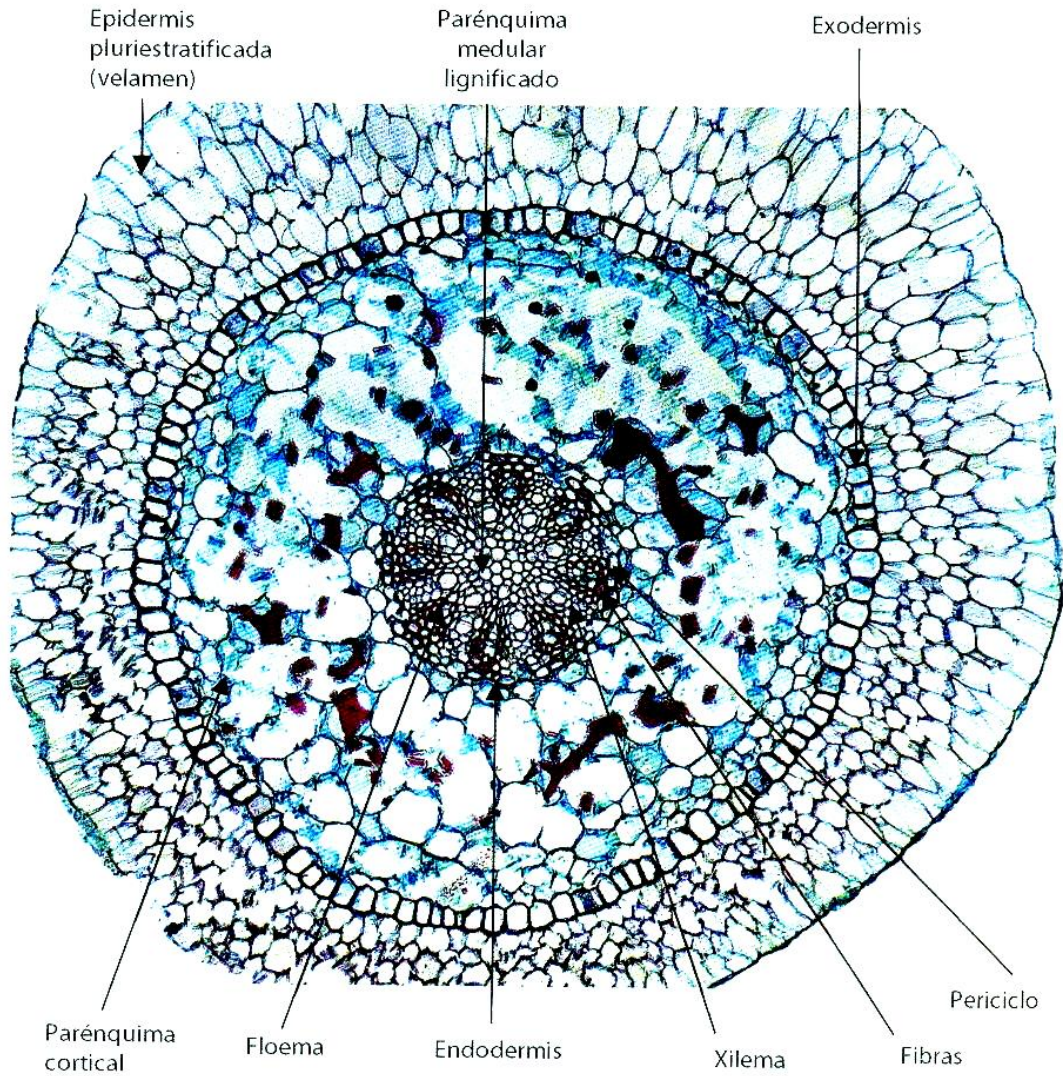
Las raíces de muchas plantas han sido utilizadas por el humano de distintas formas. La raíz de algunos pastos del género *Mhulembergia*, se utiliza en la elaboración de utensilios domésticos como escobas, escobetas y cepillos. La suelda con suelda (*Potentilla candidans*), es una hierba que contiene un porcentaje explotable aceptable de taninos que se puede utilizar en la industria de la curtiduría. La raíz de cañagria (*Rumex hymenosepalus*), se utilizó ampliamente en comunidades de Sonora como curtiente y como medicinal. La goma de *Astragalus gummifer*, se obtiene haciendo incisiones en la parte apical de la raíz o la base de las ramas más largas; y se utiliza principalmente en la preparación de alimentos como mayonesa, o en la fabricación de pastas de dientes y

lociones para las manos y en medicina como un aglomerante para tabletas o como un agente suspensante para la penicilina oral(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

Cuando son carnosas, pueden almacenar grandes cantidades de almidón y proteínas, por lo que representan un suplemento abundante de alimento para el hombre. En este caso, encontramos especies cultivadas ampliamente conocidas, y silvestres que son de uso local. A las primeras pertenecen la jícama (*Pachyrhizus erosus*), el betabel (*Beta vulgaris*), la zanahoria (*Daucus carota*), la cassava (*Manihot esculenta*), el camote (*Ipomoea batatas*) y el rábano (*Raphanus sativus*). Una de las raíces silvestres comestibles es la arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*), consumida en la región andina; es de sabor agradable y de fácil digestibilidad, sus granos son finos parecidos a los de la yuca y es una buena fuente de minerales y vitaminas. El betabel se consume como verdura en muchas partes del mundo, pero en la actualidad en muchos países Europeos es la fuente principal de azúcar. La zanahoria almacena reservas en el córtex de su raíz principal; es rica en vitamina A, proveniente del pigmento beta caroteno, responsable de su color naranja, químicamente consiste de dos moléculas de vitamina A unidas en sus extremos(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

La cassava o yuca es el cultivo tropical más importante, alimento principal de millones de personas de África y América Latina; el almidón extraído de esta raíz y purificado, al calentarse sobre un recipiente se vuelve gelatinoso en forma de esferitas conocidas como tapioca, elemento común en la comida vegetariana; puesto que la tapioca es un buen agente espesante, es un ingrediente en pays y pudines. El camote es cultivado en áreas templadas del mundo, contiene pequeñas cantidades de vitaminas, algo de azúcar y beta caroteno, casi igual que la zanahoria. En Japón un alto porcentaje de este cultivo se utiliza

para obtener almidón, elaborar vino y alcohol. Una cantidad considerable se utiliza como alimento de animales(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).



**Figura 48. Raíz de una orquidea**

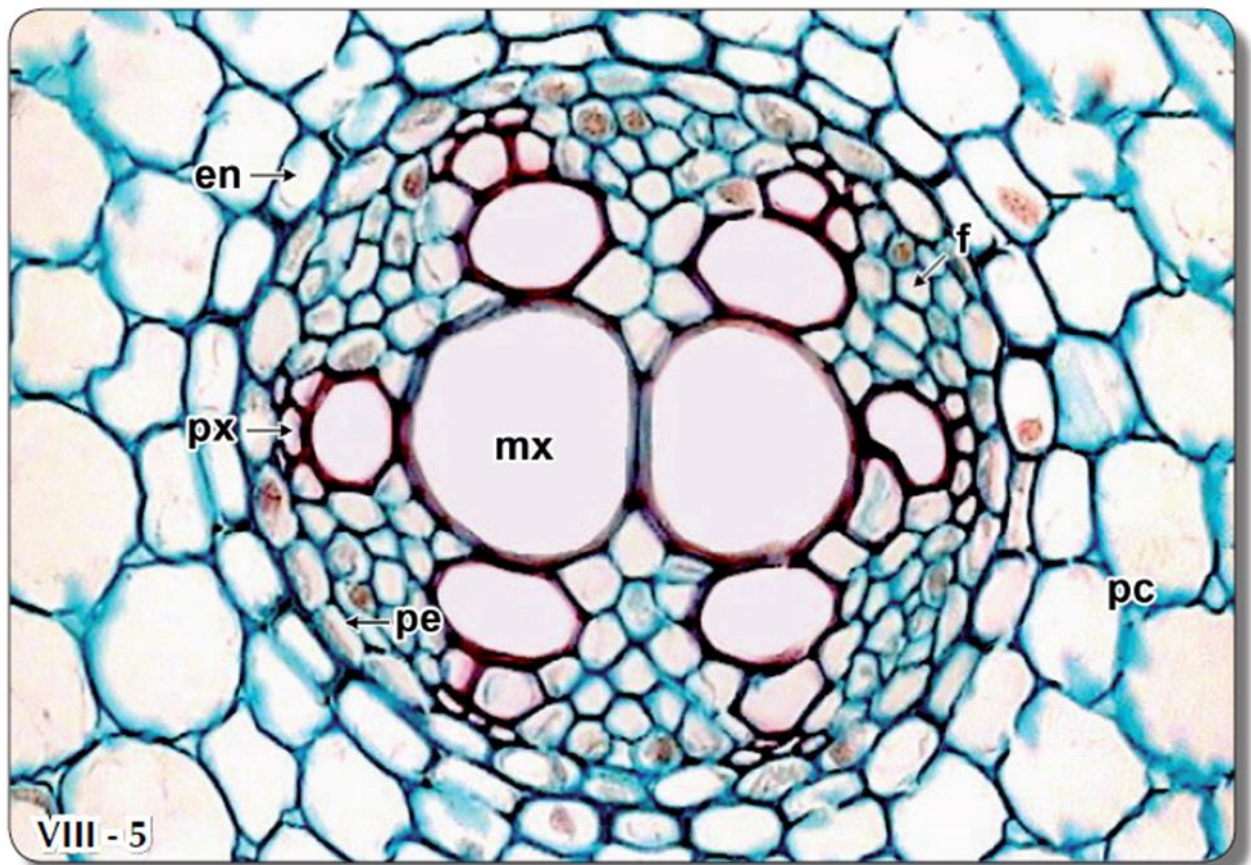


Figura 49. *Allium* sp. Monocotyledoneae. Sección transversal 400x. Parénquima cortical (pc), endodermis (en), periciclo (pe), protoxilema (px), floema (f), metaxilema (mx). Fuente: (Azacarraga y et al, 2010)

## **X.TALLO**

En esta unidad está estructurada de la siguiente manera:

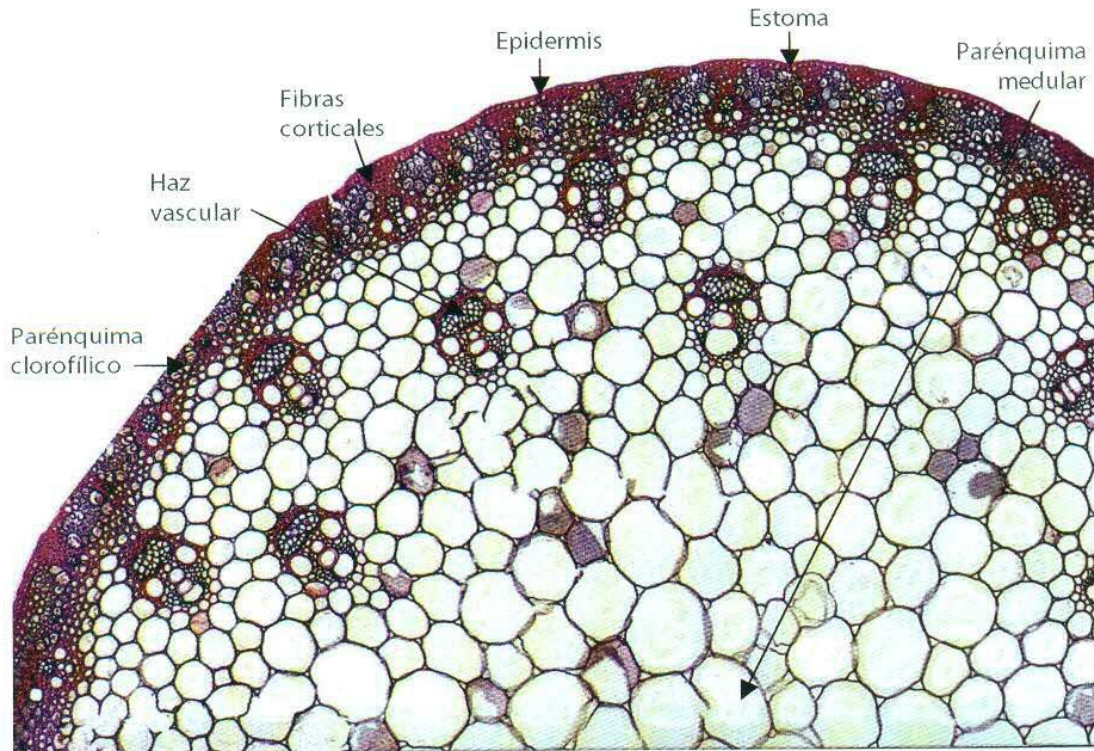
- Resumen de la unidad
- Tipos de tejidos que forman al tallo
- Origen
- Estructura
- Formas de reconocimiento de los órganos vegetales
- Notas de interés
- Actividades para el alumno

Esta Unidad de mersitemos esta relacionda con la Unidad X del programa de Anatomia de plantas Cultivadas

### **Resumen**

Los tallos de una planta típica proporcionan soporte mecánico, sostienen y elevan las hojas con el fin de favorecer la fotosíntesis. Las flores y los frutos se producen en posiciones que facilitan la polinización de las flores y la dispersión o la diseminación de las semillas. Además funcionan como un conducto para el desplazamiento del agua y los nutrientes minerales desde las raíces hacia las demás partes de la planta, así como la transferencia de alimentos, hormonas y otros metabolitos de unas partes del tallo a otras. Los tallos de las plantas herbáceas perennes y de los árboles proporcionan anualmente nuevos tejidos vivos para el metabolismo normal de las plantas. Así, las funciones

principales de los tallos son soporte, conducción y producción de nuevos tejidos vivos, pero también son comunes las funciones de fotosíntesis y almacenamiento. Los tallos crecen longitudinalmente y los nuevos tejidos vivos se agregan a las puntas de los retoños; algunos aumentan de diámetro agregando nuevos tejidos vivos a su circunferencia. El primer paso del crecimiento es el de longitud para todas las plantas; éste es el crecimiento primario. El crecimiento en grosor que sigue al crecimiento primario, es el crecimiento secundario; el cual, no sólo produce un soporte mecánico adicional sino que además produce cada año nuevas células jóvenes activas para la conducción. El crecimiento secundario hace posible que las plantas individuales alcancen una edad avanzada, y resulta evidente en gimnospermas y angiospermas leñosas. La mayoría de las monocotilédneas no presentan crecimiento en grosor (**Figura 50**).



**Figura 50. Tallo de una Poaceae**

## **Crecimiento primario**

Los meristemos apicales dan origen a los meristemos primarios: la protodermis, el meristemo fundamental y el procambium. Tales meristemos primarios a su vez dan lugar a tejidos adultos de crecimiento primario como la epidermis, al tejido fundamental y a los tejidos vasculares primarios respectivamente. El meristemo apical del tallo, además de incorporar células al cuerpo primario de la planta, interviene en la formación de primordios foliares y primordios de las yemas que dan lugar a las ramas laterales, se caracteriza por carecer de una cubierta protectora similar a la caliptra de la raíz. Este meristemo, cuando está creciendo activamente, va originando los primordios foliares en una sucesión tan rápida que no es posible distinguir a primera vista los nudos y



entrenudos. Progresivamente, el crecimiento comienza a tener lugar en los puntos de inserción de las hojas; las porciones del tallo que se alargan forman los entrenudos, mientras que las partes del tallo donde nacen las hojas forman los nudos(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

## **Estructura primaria**

Dentro de la estructura primaria del tallo, se consideran tradicionalmente tres sistemas de tejidos: dérmico, fundamental y vascular. El tejido dérmico o epidermis se diferencia a partir de la capa superficial de células del meristemo apical; el tejido fundamental deriva del meristemo llamado fundamental; y los tejidos vasculares primarios se originan, por diferenciación, a partir del procambium (4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

A pesar de que existen considerables variaciones en la estructura primaria de los tallos de las plantas con semilla, se pueden reconocer tres tipos básicos de organización (4, 5, 6,15, 16, 38 y 41):

En coníferas y muchas dicotiledóneas, los tejidos vasculares tienen un aspecto de cilindro hueco más o menos continuo inserto en el tejido fundamental. La región más externa del tejido fundamental recibe el nombre de corteza y la región más interna, el de médula.

En otras dicotiledóneas herbáceas, los tejidos vasculares primarios forman una especie de cilindro de haces separados entre sí por el tejido fundamental; el cual separa los haces vasculares maduros, es continuo con la corteza y la médula, y recibe el nombre de parénquima interfascicular, que significa entre haces; a estas regiones interfasciculares se les llama radios medulares.

En los tallos de la mayoría de las monocotiledóneas (**Figura 51**) y algunas dicotiledóneas herbáceas, la disposición de los haces vasculares es mucho más compleja. Los tejidos vasculares no se presentan como un único anillo de cordones sino como un sistema de haces dispersos por todo el tejido fundamental. Frecuentemente, el tejido fundamental no puede diferenciarse en corteza y médula. Entre los tejidos vasculares del tallo y las hojas existe una íntima conexión; al nivel de inserción de las hojas, los haces vasculares del tallo divergen hacia las mismas formándose así las llamadas trazas o rastros foliares, cuya disposición puede ser muy variable según los distintos grupos de plantas. Cuando no persiste la continuidad del cilindro vascular del tallo, es decir, que hay una región ocupada por células parenquimáticas, ésta recibe el nombre de laguna foliar.

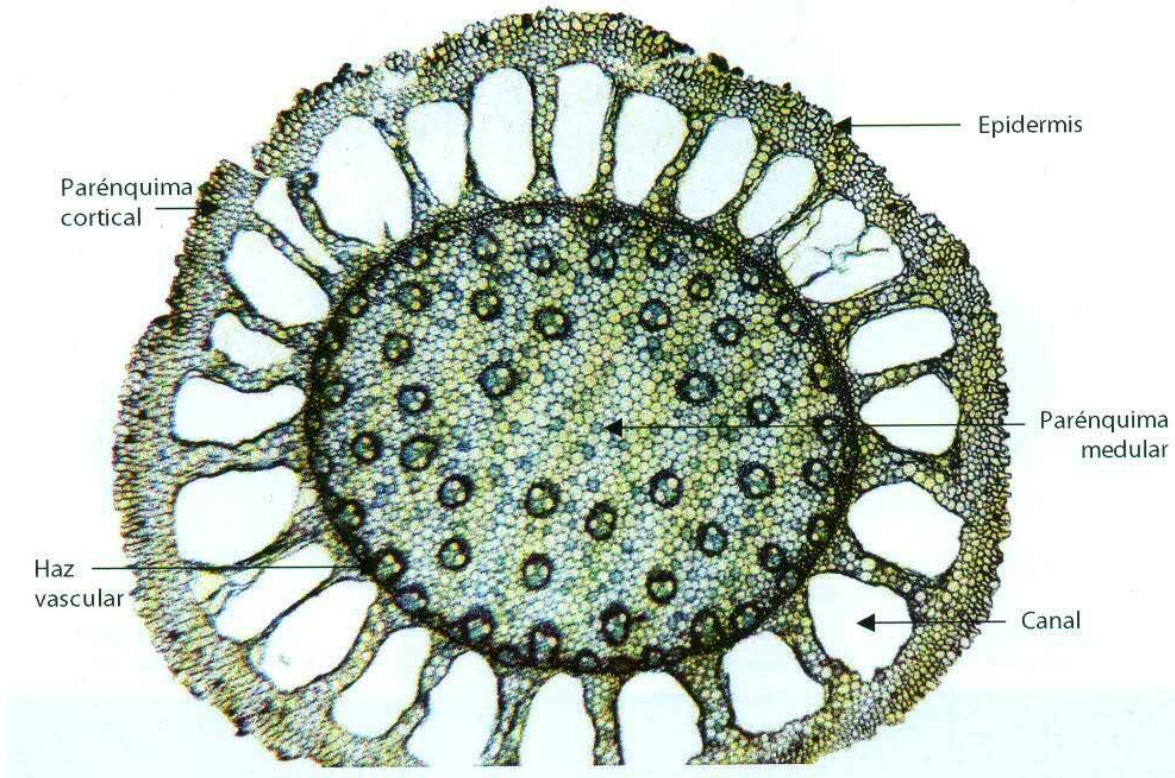


Figura 51. Tallo de *Juncus*

## Disposición de los tejidos

Es difícil hacer un recuento exacto de las estructuras que se encuentran en los tallos primarios; sin embargo, se considera un tallo típico aquél que presenta los tejidos que se observan con más frecuencia. Este tallo estaría limitado por una epidermis, con sus células características, cubierta por una cutícula más o menos gruesa. En algunas especies existe una capa celular por debajo de la epidermis que presenta diferencias estructurales con respecto al córtex, la cual recibe el nombre de hipodermis(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

Por debajo de la epidermis, o de la hipodermis, cuando ésta se presenta, puede observarse al córtex constituido por tejido fundamental. En el córtex de muchos tallos puede encontrarse colénquima, parénquima y esclerénquima; el colénquima usualmente se dispone subepidérmicamente y sus células, como las del parénquima más externo, suelen contener cloroplastos, realizar la fotosíntesis llamándose entonces clorénquima. En las células parenquimáticas del córtex, se presentan a veces idioblastos (células muy diferentes en contenido y estructura a las células parenquimáticas normales), que pueden contener cristales o taninos. Puede haber esclerénquima representado como esclereidas o fibras. En las monocotiledóneas, las fibras se ubican muy cerca de la periferia. La endodermis en tallo se encuentra muy poco definida, así que la delimitación entre córtex y tejido vascular no es tan clara como en raíz o en los rizomas. Por dentro del tejido vascular, se encuentra el resto del tejido fundamental constituyendo la médula, cuyas células a veces pueden contener granos de almidón o están lignificadas en muchos otros tallos (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41)..

Muchas de las variaciones existentes en la estructura de los tallos se deben a la disposición de los tejidos vasculares. En general, los haces son dispersos en las monocotiledóneas. En tales haces todos sus elementos procambiales se transforman en elementos vasculares primarios, de modo que es llamado haz cerrado por no permitir el crecimiento secundario. En dicotiledóneas, lo más común es que los haces formen un cilindro entre la médula y el córtex. Comúnmente, algunas células procambiales permanecen entre el xilema y floema primarios, por lo que el procambium tiene potencialidad para el desarrollo del crecimiento secundario y pueden ser referidas como haz abierto. El cilindro vascular de las dicotiledóneas está formado por un conjunto de haces vasculares

separados por parénquima interfascicular entre ellos, o puede ser un cilindro casi continuo en aquellas especies que pueden desarrollar algo de crecimiento secundario(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

A diferencia del tejido vascular de la raíz que presenta el xilema alternando con el floema, en el tallo ambos se presentan sobre el mismo radio, siendo normalmente el floema externo al xilema. Cuando el floema se encuentra a un lado del xilema, tenemos un haz colateral; si el floema se encuentra a ambos lados del xilema el haz, se llama bicolateral. Este último tipo es común en varias familias de dicotiledóneas como cucurbitáceas y solanáceas, que se dice poseen floema interno. En caso de que alguno de los tejidos vasculares rodee totalmente al otro, el haz se llama concéntrico. Si el xilema rodea al floema se llama anfigasal, si ocurre lo contrario, el haz se llama anficribal. Los haces de los tallos de muchas monocotiledóneas, además de ser cerrados, tienen forma de V o Y en sección transversal. Otra forma muy común es caracterizada por la presencia de un gran elemento de metaxilema en cada lado del haz (4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

## **Crecimiento secundario**

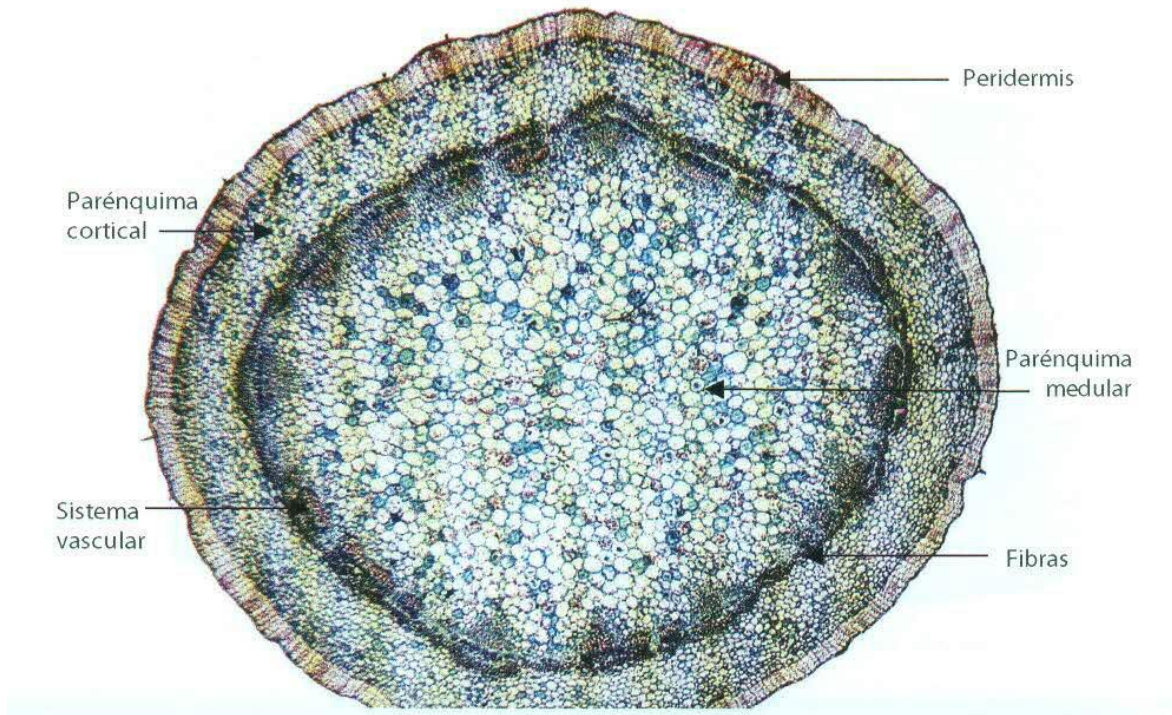
En plantas herbáceas, como la mayoría de las monocotiledóneas y algunas dicotiledóneas, el crecimiento del cuerpo vegetal cesa con la maduración de los tejidos primarios. Por otra parte, tenemos a las coníferas y a las dicotiledóneas leñosas, cuyos tallos y raíces siguen creciendo en grosor año tras año. A este incremento en el perímetro del cuerpo de la planta se le denomina crecimiento secundario, siendo el resultado de la actividad de dos meristemas: el cambium vascular y cambium suberoso o felógeno. En muchas plantas herbáceas, las que no tienen o presentan muy poco crecimiento secundario, el ciclo de

vida es anual o de una estación. Los árboles y arbustos viven durante muchos años. Al principio de la estación de crecimiento se reactiva la actividad meristemática tanto apical como lateral. Los meristemas laterales añaden tejidos secundarios a las partes viejas de la planta. (4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

Por su duración las plantas se clasifican en anuales, bienales y perennes. Las plantas anuales completan su ciclo de vida desde plántula a semilla en un año o menos. Las bienales, para que formen semillas, necesitan dos estaciones. Las perennes son plantas cuyas estructuras vegetativas viven muchos años. Las herbáceas perennes pasan la estación desfavorable como bulbos, rizomas, tubérculos o raíces aletargados bajo tierra. En las plantas leñosas que comprenden a las lianas, arbustos (**Figura 52**) y árboles, las partes aéreas sobreviven pero normalmente detienen su crecimiento durante la estación desfavorable. Como se explicó en el tema de meristemas, el cambium vascular es un meristemo bifacial formado por una capa celular, cuya cara exterior forma floema secundario y su cara interior xilema secundario cambiando dramáticamente, con el tiempo, la anatomía inicial de la planta. El cambium está compuesto por dos tipos de células iniciales: las iniciales fusiformes y las iniciales radiales. Mediante divisiones periclinales las iniciales fusiformes dan lugar a los componentes del sistema axial y las iniciales radiales producen las células radiales que forman el sistema radial o parénquima radiomedular. Mediante divisiones anticlinales de las células iniciales se consigue aumentar el perímetro del cambium. Un cambium semejante no existe en monocotiledóneas(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

Con la actividad cambial a través del tiempo, se produce gran cantidad de xilema secundario o madera. Concomitantemente con la producción de xilema secundario, el

cambium vascular también produce floema secundario cada año; la cantidad de floema producido generalmente es mucho menor que la del xilema, la producción de radios producidos es variable dependiendo de la especie, condiciones ambientales y vigor del crecimiento. El incremento en el desarrollo de los árboles de zonas templadas puede ser apreciado en cortes transversales en los llamados anillos de crecimiento. Los elementos traqueales producidos en primavera (leño temprano) son notablemente mayores en diámetro que los más estrechos o radialmente aplanados elementos producidos en verano (leño tardío). La madera con anillos porosos, conformados por grandes vasos, se concentra en el leño temprano si se compara con el leño tardío del mismo anillo de crecimiento. La madera con poros difusos tiene poros más o menos del mismo diámetro en todo el anillo de crecimiento(4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).



**Figura 52. Tallo de *Pelargonium***

## **Crecimiento secundario en gimnospermas**

### **Xilema**

El xilema secundario en las gimnospermas es más sencillo y más homogéneo que en las angiospermas. La diferencia principal es la ausencia de vasos o tráqueas en las primeras y su presencia en las segundas, así como la poca cantidad de parénquima, sobretodo del axial en gimnospermas(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

El sistema vertical de las gimnospermas está formado por traqueidas, pero las traqueidas del leño tardío desarrollan paredes relativamente gruesas, por lo que se les ha



denominado fibrotraqueidas. Las fibras leñosas no se encuentran en el xilema secundario de las gimnospermas. Las traqueidas contiguas están conectadas por puntuaciones rebordeadas que se disponen usualmente en una fila. Por regla general, sólo las paredes radiales llevan puntuaciones, pero en las traqueidas tardías también aparecen en las paredes tangenciales. El parénquima axial existe, por ejemplo en *Pinus*, solo en contacto con los conductos resiníferos. *Pinus* se reconoce porque posee canales resiníferos en cada anillo de crecimiento, *Abies* y *Cupressus* no poseen canales resiníferos en el xilema, pero se presentan en el floema(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

Los radios en las gimnospermas están formados por células parenquimáticas como radios unicelulares, o también por traqueidas como radios heterocelulares. Estos radios por lo común son uniseriados y tienen usualmente alrededor de 20 células de altura. Si un canal resinífero atraviesa el radio lo hace por en medio, haciéndose más ancho en esta zona. En células radiales de algunas especies de *Pinus* se presentan puntuaciones fenestriiformes con bordes extremadamente estrechos que se extienden por toda la anchura de la célula. Los canales resiníferos se desarrollan en el sistema vertical o en los dos sistemas en un gran número de gimnospermas. Los canales se desarrollan de modo esquizógeno entre células productoras de resina del parénquima que origina el epitelio del canal. En *Pinus* se desarrollan canales en todos los anillos, en *Cupressus* nunca se desarrollan(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

## **Córtex**

La corteza secundaria está formada por todos los tejidos que quedan por fuera del cambium vascular. Consiste de dos tejidos, la peridermis que es un tejido externo de

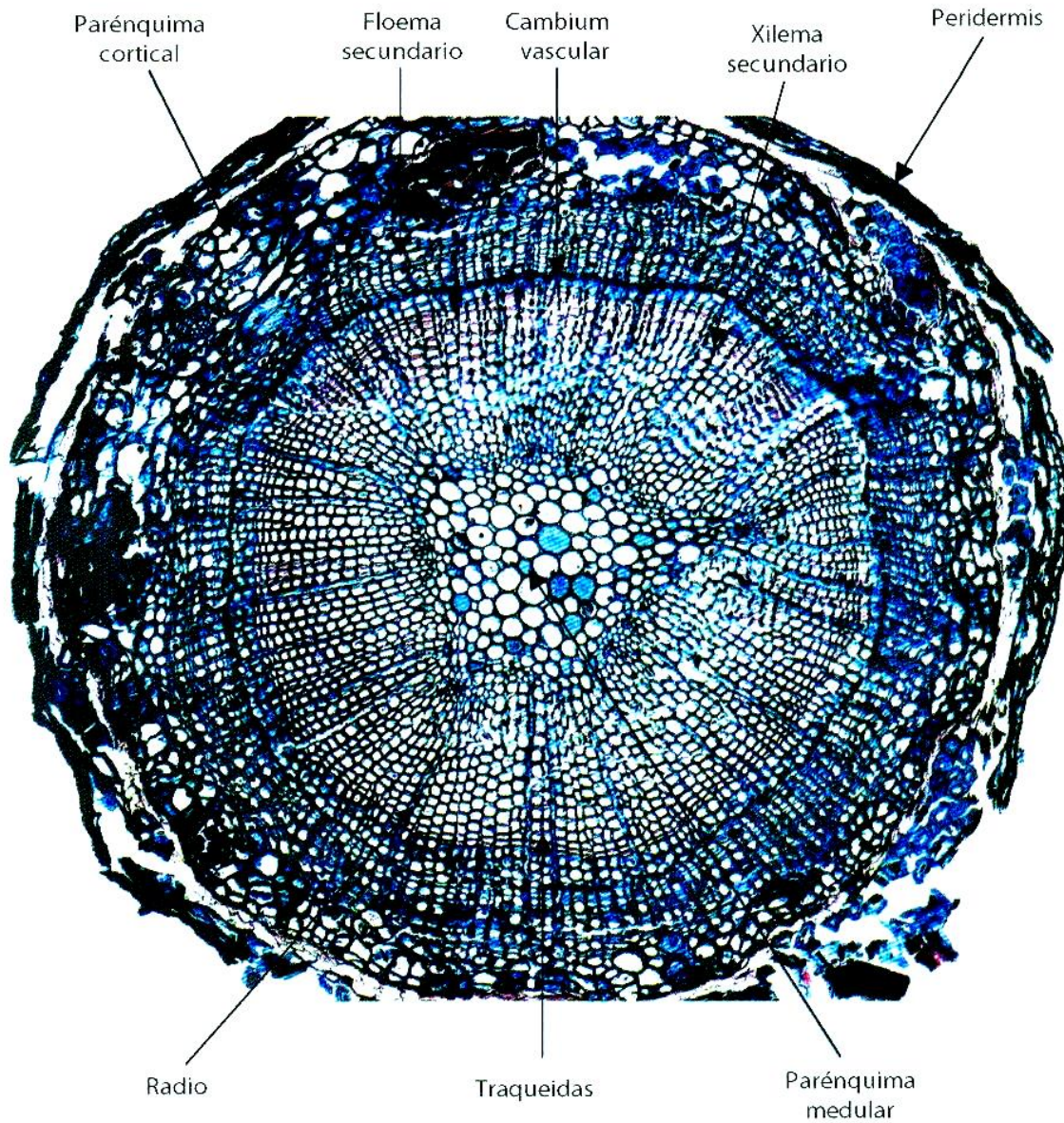
células suberizadas que protege y aísla los tejidos subyacentes y el floema secundario que transporta agua y solutos orgánicos entre las hojas y raíces. En tallos viejos gran parte del floema que está en la corteza secundaria no es funcional. Los elementos cribosos de la estación de crecimiento en curso son de vida corta, generalmente son conductores o funcionales(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

## Floema

El floema secundario es de estructura relativamente sencilla en las coníferas; el sistema vertical se forma de células cribosas, células parenquimáticas, células albuminíferas y en muchas especies también de fibras. Los radios del floema son uniseriados, constan sólo de parénquima y a veces de células albuminíferas. La disposición radial de los elementos del floema no cambia durante el desarrollo y se mantiene igual en las partes maduras. Los extremos de las células cribosas están imbricados y es en estos extremos donde se concentran las áreas cribosas. Por lo general las áreas cribosas se producen en las paredes radiales de las células cribosas (4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

Las células parenquimáticas del sistema vertical almacenan almidón en alguna época del año y muchas contienen taninos, resinas y cristales de oxalato de calcio; las que contienen cristales están revestidas por una capa de suberina. En pináceas, las células de parénquima floemático se disponen en filas o bandas tangenciales; en cupresáceas y taxodiáceas (**Figura 53**) hay bandas alternas de parénquima, de elementos cribosos y de fibras;

mientras que en el floema secundario de las coníferas puede haber canales resiníferos de origen esquizógeno(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).



**Figura 53. Tallo de *Taxodium***

## **Crecimiento secundario en dicotiledóneas**

### **Xilema secundario**

El xilema secundario de las dicotiledóneas es más complejo que el de las gimnospermas; por ejemplo, en el xilema secundario de *Quercus*, se encuentran vasos, traqueidas, fibrotraqueidas, fibras leñosas, fibras mucilaginosas, parénquima leñoso y radios de diferentes tamaños; y en otras dicotiledóneas como *Persea* y *Cedrela*, el leño se compone de vasos, células parenquimáticas y fibrotraqueidas. Los árboles tropicales no diferencian anillos, pero sí se distinguen con frecuencia en los árboles originarios de zonas templadas. Los anillos son anuales y se marcan debido a que las células producidas al final del periodo de crecimiento, son más estrechas en dirección radial y de paredes más gruesas. A simple vista, los anillos se evidencian por la diferencia en color que hay entre el leño temprano y leño tardío (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

### **Disposición de los vasos o tráqueas**

El arreglo de vasos es una característica que se utiliza para la identificación de las especies. Cuando los vasos son de tamaño uniforme y de distribución más o menos homogénea a través del leño, se dice que es de porosidad dispersa; por ejemplo en *Acer*, *Eucalyptus*, *Populus alba* y otros. Cuando el leño tiene vasos de diferentes tamaños y los del leño temprano son claramente de mayor diámetro que los del leño tardío, se llama madera de poros en anillo. Por ejemplo en *Fraxinus*, muchas especies de *Quercus* y *Prunus serotina*;

no obstante, existen muchos casos intermedios. La edad y las condiciones ambientales también influyen en la distribución de vasos que pueden ser aislados, por ejemplo en *Eucalyptus* y *Quercus*, o en grupos de diferente forma y tamaño. Los grupos pueden ser filas radiales, filas oblicuas o tangenciales; o bien, grupos múltiples donde dos o más tráqueas entran en contacto; éstos pueden formar haces con un número variable de vasos tanto de dirección radial como tangencial por ejemplo, en *Erythrina* (fig. IX-34). Las tráqueas aisladas pueden ser de sección circular o elíptica, los vasos hacinados suelen estar comprimidos en la zona de contacto. Al parecer, todas las tráqueas de un anillo y quizá todas las del xilema se encuentren interconectadas formando una red continua(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

## **Parénquima axial**

Es variable la cantidad en las diversas especies de dicotiledóneas; en algunas hay muy poco parénquima axial o falta completamente, mientras que en otras constituye gran parte del leño. También es variable la distribución del parénquima entre los elementos del xilema secundario. Existen dos tipos básicos: el apotraqueal, que es independiente de los vasos o que puede estar ocasionalmente en contacto con ellos; y el paratraqueal, que se ve claramente asociado a los vasos o tráqueas; cada uno se subdivide como sigue(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41):

## **Parénquima apotraqueal**

Difuso. Parénquima dispuesto en bandas o de células aisladas distribuidas irregularmente entre las fibras.

Metatraqueal. El parénquima axial se dispone formando capas concéntricas.

Terminal. Células apotraqueales aisladas o en bandas al final del anillo anual.

Inicial. Un tipo semejante al anterior, pero formado al inicio de un anillo.

## **Parénquima paratraqueal**

Incompleto. Si no forma una vaina continua en torno a las tráqueas. Unilateral. Se presenta a un sólo lado de las tráqueas y puede ser adaxial si se presenta del lado interno y abaxial del lado externo.

Vasicéntrico. Cuando forma vainas completas alrededor de los vasos.

Aliforme. Vasicéntrico pero con expansiones aladas.

Confluente. Vasicéntrico y aliforme que forma bandas diagonales o tangenciales debido a la unión de vainas del parénquima.

## **Radios leñosos**

Hay dos tipos principales de radios: heterocelulares y homocelulares; un radio heterocelular es aquel cuyos radios individuales están compuestos tanto por células procumbentes como por células cuadradas o erectas; un radio homocelular está compuesto completamente por un mismo tipo morfológico de células, es decir, todas procumbentes o todas cuadradas y erectas.

En dicotiledóneas, los radios de parénquima con frecuencia son multiseriados: en sección tangencial tienen dos o más células de anchura, pero pueden ser uniseriados con una célula de anchura. Usualmente existe la combinación de uniseriados y multiseriados.

## **Madera de reacción**

Algunos factores ambientales pueden modificar la distribución más o menos homogénea del leño debido a diversas tensiones de crecimiento, a este tipo del leño se le denomina de reacción; y se produce en troncos y ramas inclinadas. Existen diferencias marcadas entre coníferas y dicotiledóneas; en dicotiledóneas, la madera de reacción se forma en el lado superior de los tallos y es llamada madera de tensión; ésta contiene relativamente pocos vasos y muchas fibras gelatinosas hechas de celulosa. La madera de reacción en coníferas que se forma en el lado inferior de los tallos es llamada madera de compresión. La madera de compresión contiene espacios intercelulares y grandes cantidades de lignina.

## **Floema secundario**

Tiene una estructura relativamente complicada; en el sistema vertical contiene elementos del tubo criboso, células acompañantes, células parenquimáticas y fibras. El sistema horizontal consta de radios de tamaño variado uniseriados o multiseriados formados exclusivamente de células parenquimáticas. En ambos sistemas pueden existir esclereidas, cavidades secretoras esquizógenas o lisígenas, tubos laticíferos y otras células que contienen sustancias especiales.

Las fibras del floema secundario de las dicotiledóneas pueden disponerse de varias formas: dispersas, en bandas, formar la mayor parte del floema o faltar completamente. Se llaman fibroesclereidas cuando se desarrollan a partir de parénquima del floema inactivo y no de las células iniciales del cambium. Las esclereidas se presentan tanto en el floema activo como en el inactivo, y se forman a partir de células parenquimáticas. La disposición de los tubos cribosos y de las células parenquimáticas difiere con las especies ya que pueden formar bandas alternas o series radiales. En los elementos del tubo criboso, las placas cribosas están mejor desarrolladas en las paredes terminales que en las laterales.

En la mayoría de las dicotiledóneas, la parte activa del floema secundario es la producida en el último periodo de crecimiento. En algunas especies, los tubos cribosos permanecen activos varios años. El floema interxilemático como en *Bougainvillea* tiene una actividad continua durante muchos años.

## **Peridermis**

En la mayoría de las dicotiledóneas leñosas y gimnospermas, la epidermis es sustituida por la peridermis. Este tejido se desarrolla justo después que la elongación del tallo ha terminado. Peridermis no es sinónimo de corteza, nombre no técnico que se refiere a todo el tejido exterior del cambium vascular, por lo tanto incluye al floema secundario. Estructuralmente, la peridermis tiene tres componentes: la capa de células iniciales o felógeno; células no vivas de corcho o felema; y, en algunas plantas, una o más capas internas compuestas de células vivas de parénquima llamada felodermis. Las células



maduras del corcho son células muertas, sus paredes contienen una sustancia cerosa llamada suberina. Para intercambiar gases, las plantas leñosas desarrollan pequeñas estructuras conocidas como lenticelas dentro de la peridermis. A todo el conjunto de tejidos externos muertos de la corteza que se originaron del felógeno se le denomina ritidoma (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

## **Crecimiento secundario anómalo**

El crecimiento secundario que difiere del tipo común, se denomina anómalo. Las plantas que presentan este tipo de crecimiento son las trepadoras leñosas o lianas cuyo desarrollo estructural en realidad no es anormal, sino que, para poder enredarse o trepar sobre otras plantas, necesitan importantes cambios en la organización de sus tejidos; éstos se manifiestan porque a) hay una desigual actividad en las partes del cambium sobre la circunferencia del tallo; b) existe alteración de las cantidades relativas de xilema y floema producidos; c) se presentan cambios de posición del xilema y floema; y d) se forman cambios adicionales. El significado funcional de los diferentes patrones de crecimiento anómalo no es muy claro, pero se han sugerido los siguientes (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41):

Incrementan la flexibilidad y fortaleza de los tallos, limitan o predeterminan patrones de segmentación, facilitan la clonación, confinan enfermedades a áreas limitadas en cuerpo de la planta, facilitan el trepado de las lianas, incrementan el tejido de almacenaje, protegen y mantienen la funcionalidad del xilema y floema bajo condiciones altamente estresantes, facilitan un rápido saneamiento, además de que incrementan conexiones para raíces adventicias.

Se reconocen los siguientes tipos de crecimiento anómalo (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41):

**Cambia sucesivos.** Se presenta en tallos donde hay formación secuencial de anillos completos o haces de tejido vascular arreglados concéntricamente, de modo que se forma floema interno como en *Abuta panamensis*, *Dolioscarpus dentatus*, *Machaerium cobanense*, *Salacia megistophylla* e *Ipomoea batatoides*. Bandas de cambium que sólo producen un tipo de parénquima radial. Estas bandas aumentan su número con el aumento del perímetro cambial, produciendo sucesivamente radios de parénquima más amplios. Con el incremento del diámetro del tallo, aparecen nuevas bandas; se presentan por ejemplo, en *Aristolochia* spp. y en *Cissus gossypiifolia* (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

**Estructura en cruz.** Es común en bignoniáceas trepadoras, donde cuatro arcos del cambium original detienen la producción de elementos de xilema secundario hacia el interior del tallo, mientras se forma floema secundario en exceso hacia afuera; por ejemplo, en *Paragonia pyramidata* y *Arrabidaea verrucosa* (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

**Crecimiento interrumpido.** Es una variación del tipo anterior donde el xilema secundario está dividido en secciones discretas. El arco cambial está posesionado en la base de cada valle y en la cima de cada cresta, resultando un cilindro leñoso en forma de estrella, como en *Amphilophium paniculatum* y *Acacia hayesii*. **Tallo dividido o tallo compuesto.** Un simple tallo central está rodeado por tres o hasta diez cilindros periféricos vasculares, cada uno con su propio cambium y crecimiento secundario. Este tipo de crecimiento anómalo es muy común en el género *Serjania*; por ejemplo, *Serjania mexicana*, y en otras especies como *Turbina corymbosa*. En algunas especies de *Serjania*,

el cilindro central se divide radialmente en cuatro o cinco costillas por tejido parenquimático(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

## **Crecimiento secundario en monocotiledóneas**

La mayoría de las monocotiledóneas carecen de actividad cambial lateral ya que son plantas herbáceas pequeñas. Sin embargo, existen algunas monocotiledóneas que forman un engrosamiento abrupto de sus tallos en respuesta a un tipo especial de región meristemática localizada cerca del ápice del tallo como ocurre en las palmas. Existen también monocotiledóneas arbóreas, particularmente en México, que han desarrollado evolutivamente un tipo único de crecimiento secundario que deriva de un meristemo ubicado lateralmente(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

Muchas plantas de este grupo poseen una región meristemática justo bajo el ápice del tallo denominada meristemo de engrosamiento primario. Esta región estrecha originada del tejido fundamental está localizada justo bajo la inserción de primordios foliares en la corona. Este meristemo produce parénquima hacia el exterior mientras que forma una combinación de parénquima y haces vasculares internamente, que se interconectan con el tejido vascular ya establecido en tallos y hojas. La actividad del meristemo de engrosamiento primario es seguida por un considerable alargamiento de las células derivadas y es responsable del incremento del diámetro del tallo justo bajo el meristemo apical. Las raíces adventicias también se originan por la actividad del meristemo de engrosamiento primario(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

En algunas plantas leñosas de las Liliiflorae (Yucca, Cordyline, Aloe, Dasylirion, Beaucarnea) se presenta un estructural y funcionalmente tipo único de meristemo lateral o cambium, que es denominado meristemo de engrosamiento secundario o anillo de engrosamiento (fig. IX-65); y es una zona de varias células de grosor dentro del córtex que no presentan células iniciales de radio. El meristemo de engrosamiento secundario origina algo de parénquima secundario hacia fuera, denominado córtex secundario y un considerable número de haces vasculares embebidos en parénquima hacia el interior que son producidos secundariamente, y que difieren de los haces primarios por presentar una organización anfibasal (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

## **Nota de interés**

De los tallos pueden obtenerse muchos productos útiles al hombre como madera, postes o materiales para construcción de viviendas, combustible, fibras, corcho, resina y látex. Las ramas tiernas de muchas hierbas y arbustos, así como de algunos árboles son utilizadas como medicinales o son comestibles. Por el porte de sus tallos o forma de la copa, muchas plantas son ornamentales o sirven de sombra. Algunos tallos herbáceos, principalmente aquellos modificados como bulbos tubérculos o rizomas son alimenticios; entre ellos destaca la papa. Muchos de estos bulbos se usan en el comercio de las plantas ornamentales. La razón por la que la madera es tan útil para nosotros deriva directamente de la forma en que ésta ha evolucionado para ser útil a los árboles mismos. La madera es un extraordinario material estructural que la evolución ha diseñado perfectamente para mantener en su lugar a las hojas flores y frutos, en contra de las fuerzas de gravedad y el

viento. Entonces los atributos de firmeza, fuerza, resistencia, flexibilidad y ligereza que posee y que son ideales para llevar adecuadamente su función, han sido muy útiles también para nosotros. Los árboles con diferentes historias de vida tienden a producir madera muy diferente, en consecuencia, cada tipo de madera tiene características propias que se adaptan para propósitos particulares(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

Los árboles del dosel superior como muchos encinos, pinos y oyameles de los bosques templados y caobas, tecas y sombreretes de los bosques tropicales, poseen largos troncos cuya madera tiene densidad media y está impregnada de cantidades relativamente grandes de defensores químicos que la tiñen de oscuro. Sin embargo, la durabilidad de la madera depende de dónde crecieron los árboles. Los árboles tropicales tienden a producir químicos más tóxicos para defenderse de patógenos; en consecuencia, la madera es más durable ya que las toxinas permanecen en ella y no es atacada por patógenos fácilmente(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

Los árboles de los doseles bajos de los bosques del mundo tienden a ser más pequeños, de crecimiento más lento y de vida más larga que las especies del dosel superior. Como consecuencia, éstos producen madera más densa que está impregnada con altas concentraciones de compuestos; la cual es entonces más fuerte, más dura, más resistente a las rajaduras que los árboles del estrato superior y más fácil de toronar y pulir; por su color oscuro es más atractiva y, como posee células más pequeñas y los anillos de crecimiento están más cercanos, goza de granulación más fina. Por estas razones, la madera de los árboles de los estratos bajos es más valiosa y tiene muchos usos especializados como la fabricación de instrumentos musicales(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

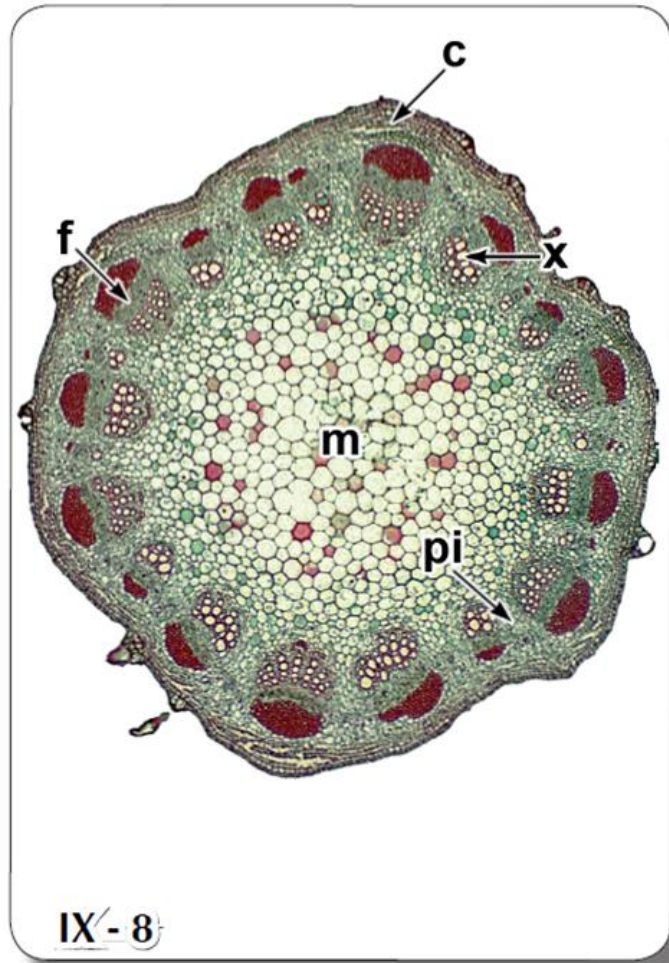
Los árboles pioneros por su rápido crecimiento, son los más productivos de todos los árboles. Pero la madera de estos árboles es de vida corta, de baja densidad, poco resistente a las plagas y pudriciones, en consecuencia son débiles; por lo que es utilizada solamente para fabricar artículos de vida limitada como fósforos, cercas, o en la producción de papel. De los tallos de los árboles no sólo se obtiene madera, sino también químicos que son producidos por los tallos para defenderse de patógenos y herbívoros. Los taninos se han extraído por miles de años de tallos de encinos y castaños, y son usados para curtir cuero; de muchas coníferas se obtiene resina y otros productos como brea, trementina y aguarrás (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

Un descubrimiento formidable fue la fabricación del hule, cuyas propiedades mecánicas son excelentes, y que es elaborado a partir del látex que se extrae de los tallos del árbol del hule (*Hevea brasiliensis*). Otro tipo de látex que ha demostrado tener propiedades útiles, es el chicle; éste es la base de la goma de mascar, y es obtenido mediante la extracción por sangrado de los tallos de chicozapote, árbol abundante en los bosques húmedos de la península de Yucatán y Guatemala. La madera y la corteza de los tallos de los árboles son tan rígidas y están tan llenas de químicos defensivos, que rara vez son comestibles. Una excepción es la corteza del árbol del canelero, que es una importante especie. Extractos de la corteza y madera de otras plantas tropicales también han proporcionado importantes productos medicinales como la quinina, o alcaloides venenosos como el curare y la estricnina. En regiones templadas, el principio activo de la aspirina, el ácido acetil salicílico, fue extraído por primera vez de la corteza del sauce (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

Las fibras vegetales tienen gran importancia económica pues, desde la antigüedad, se han utilizado en la fabricación de vestidos, cordeles, y muchos otros productos. Muchas de éstas provienen de los tallos como el yute, lino, cáñamo, ramio, yute del congo, yute chino (*Abutilon indicum*) y *Sida rhombifolia*. Algunas plantas son apreciadas por sus cualidades estéticas o son usadas para embellecer la apariencia de otros objetos. La belleza es, por supuesto, algo subjetivo que está determinado en gran parte por la cultura: es diferente entre países, entre individuos y varía de una generación a otra. El color, la textura, la línea y la forma de los tallos, su follaje o sus copas, son elementos de belleza que se aplican para distinguir a las plantas ornamentales (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

**Cuadro 2. Diferencias entre colénquima y esclerenquima**

	<b>COLÉNQUIMA</b>	<b>ESCLERÉNQUIMA</b>
<b>Células</b>	diferenciables	Incapaces de diferenciación aún si conservan el protoplasto
<b>Pared</b>	Pared primaria Flexible, plástica	Pared secundaria lignificada
<b>Protoplasto</b>	Vivo, activo	Muere a la madurez



**Figura 54. *Helianthus annuus*. Dicotylidoneae. Sección transversal de tallo 25x. Corteza (c), xilema (x), floema (f), parénquima interfascicular (pi), médula (m). Fuente: (Azacarraga y et al, 2010)**



## XI. HOJA

En esta unidad está estructurada de la siguiente manera:

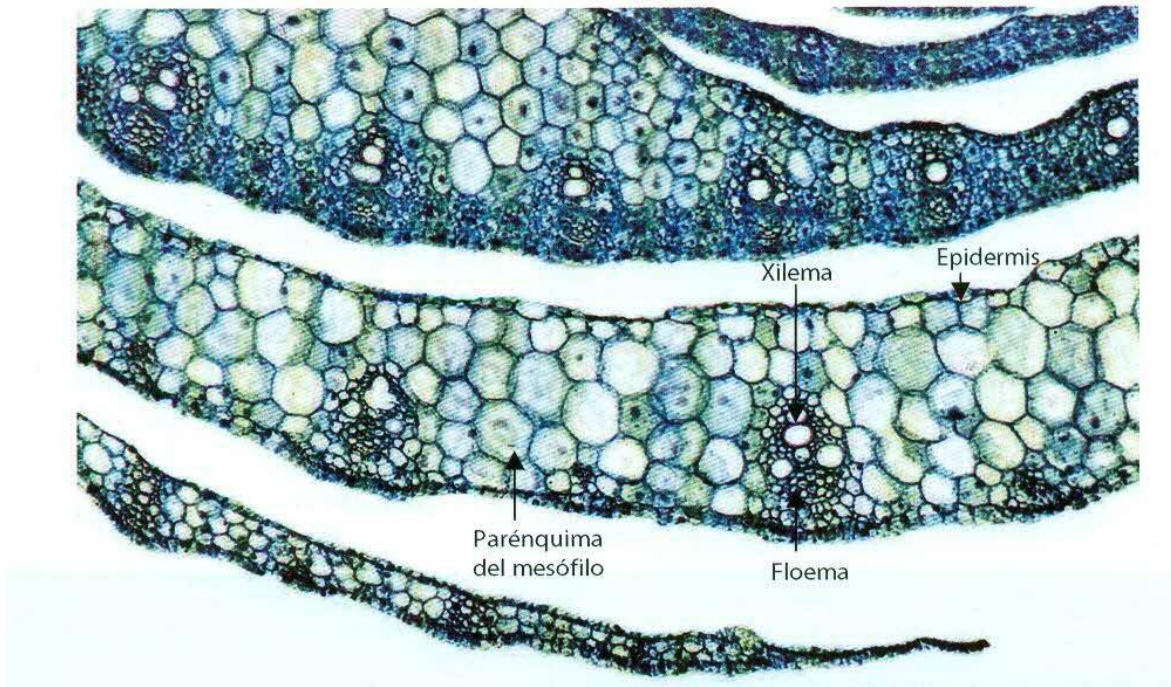
- Resumen de la unidad
- Tipos de tejidos que forman a la hoja
- Origen
- Estructura
- Formas de reconocimiento de los órganos vegetales
- Notas de interés
- Actividades para el alumno

Esta Unidad de mersitemos esta relacionda con la Unidad XI del programa de Anatomia de plantas Cultivadas

### Resumen

La hoja es el órgano vegetativo más variable de la planta. El término colectivo para todos los tipos de hojas que aparecen en una planta es filoma. Los filomas de las espermatofitas son extremadamente variables en estructura y función; se han clasificado los siguientes tipos de filomas: trofófilos, catáfilos, hipsófilos, cotiledones y otros. Los trofófilos son los principales órganos fotosintéticos; los catáfilos son escamas que aparecen en las yemas y en tallos subterráneos, cuya función es de protección o almacenamiento; y los hipsófilos son los distintos tipos de brácteas que acompañan a las flores y su función es de

protección. A veces, los hipsófilos son coloreados y entonces su función es análoga a la de los pétalos. Los cotiledones son las primeras hojas de la planta. Los órganos florales también se consideran hojas. Los trofófilos u hojas fotosintéticas, que son las que trataremos en este tema, son apéndices dorsiventrales; pueden ser aplanadas lateralmente, casi cilíndricas, o tener formas tubulares, entre otras. Histológicamente, la hoja fotosintética está compuesta por tres tipos de tejidos: epidermis, mesófilo y tejido vascular; éstos presentan modificaciones de acuerdo a condiciones ambientales, o al grupo taxonómico al que pertenece la hoja, ya sea angiosperma dicotiledónea, monocotiledónea (**Figura 55**), o gimnosperma.



**Figura 55. Hoja de maíz**

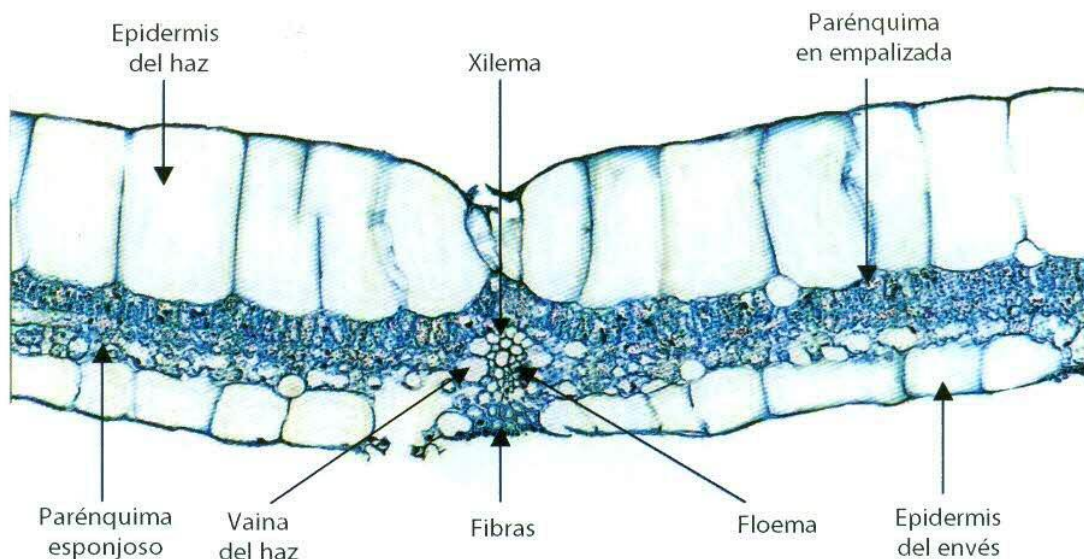
## **Epidermis**

La epidermis de hojas de angiospermas puede estar compuesta de diversos tipos celulares: células típicas de la epidermis, células guardianas u oclusivas, y células anexas o subsidiarias, como parte de los estomas. En hojas de venación reticulada, los estomas se distribuyen sin un orden aparente; pero en hojas paralelinervias, los estomas adoptan una posición paralela formando filas. Las células estomáticas pueden estar al mismo nivel que las células epidérmicas, hundidas en relación a éstas, o bien superficiales. Se pueden presentar tricomas o pelos glandulares o no glandulares. Células buliformes, que son células mayores que las células epidérmicas típicas, tienen paredes delgadas y una gran vacuola. Toda la epidermis adaxial de la hoja puede estar constituida por células buliformes, o bien estas células pueden formar bandas. Otras células especializadas en la epidermis son los litocistes y los idioblastos, que resguardan sustancias ergásticas(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

En el grupo de monocotiledóneas, las gramíneas presentan células cortas entre las células epidérmicas alargadas o células largas, que están situadas sobre las nervaduras. Estas últimas pueden ser de dos tipos: células silíceas y células suberosas. La epidermis varía en cuanto a número de capas, forma, estructura y disposición de estomas; tipos y disposición de tricomas y existencia de células especializadas. Dada la estructura, normalmente aplanada de la hoja, se hace una distinción entre los tejidos epidérmicos de las dos superficies foliares: la superficie superior o adaxial, y la inferior o abaxial. La epidermis puede ser uniestratificada o pluriestratificada y, en ocasiones, puede existir una hipodermis que se encuentra en contacto con el mesófilo(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

Las células epidérmicas no suelen tener cloroplastos, con excepción de las células oclusivas que forman parte de los estomas, o la epidermis de algunas plantas acuáticas que crecen inmersas en agua, así como algunas especies del sotobosque. En hojas pubescentes, la epidermis foliar puede tener tricomas glandulares o no glandulares, de tamaño y forma variable. Existe una amplia clasificación de acuerdo al tipo de tricoma, el indumento o vestidura foliar. La epidermis también puede presentar excrecencias o emergencias que se utilizan para clasificar la superficie foliar según su textura (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

La epidermis de gimnospermas, como las hojas aciculares de *Pinus*, consta de células de paredes gruesas y cubiertas por una cutícula gruesa. Los estomas se encuentran dispersos por todas las caras de la hoja; además están hundidos y cubiertos por las células subsidiarias. Existe una hipodermis de células parenquimáticas esclerificadas en forma de fibras, excepto en las áreas situadas por debajo de los estomas (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).



**Figura 56. Hoja de *Commelina***

## Mesófilo

El mesófilo es el tejido parenquimático situado entre las epidermis adaxial y abaxial; normalmente, sufre una diferenciación para dar lugar a los tejidos fotosintéticos y por ello sus células tienen cloroplastos. Existen distintas formas celulares del mesófilo: pueden distinguirse, principalmente, dos tipos de parénquima: el parénquima en empalizada y el parénquima lagunoso o esponjoso. Las células de parénquima en empalizada generalmente son alargadas y se sitúan inmediatamente debajo de la epidermis, pueden disponerse en una o en varias capas, y la altura de las células en distintas capas puede ser igual o hacerse menor hacia el centro del mesófilo (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

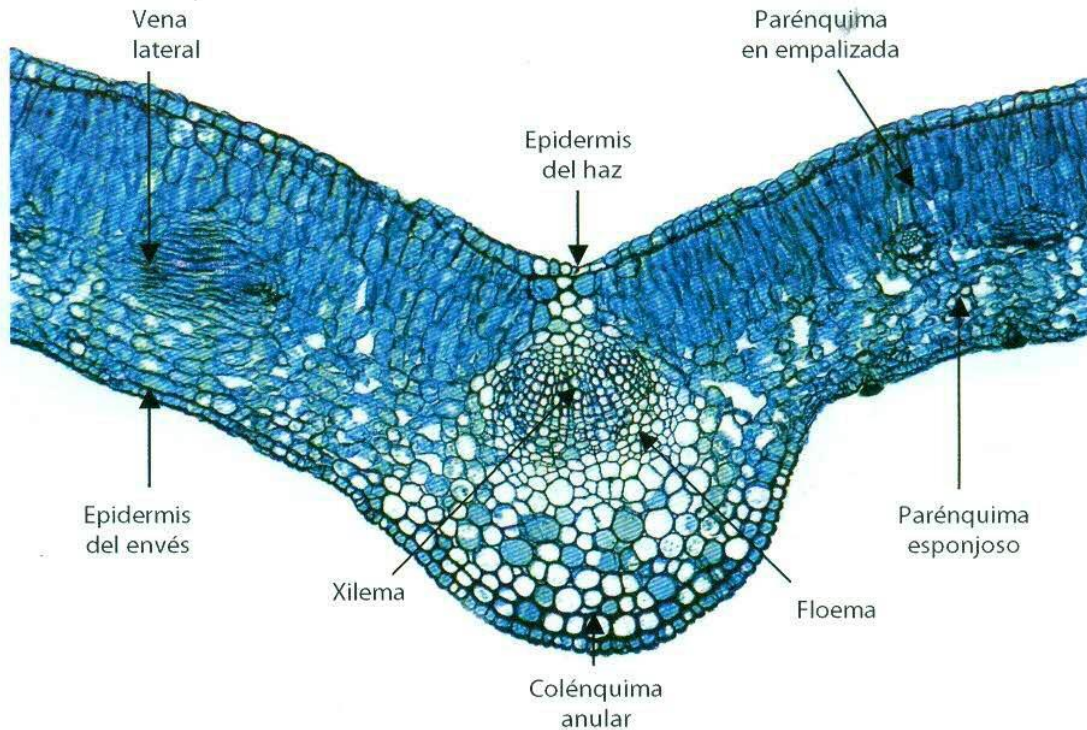
El tejido en empalizada se encuentra normalmente en la superficie adaxial de la hoja aunque puede existir en ambas caras; como consecuencia de ello, sólo habrá una delgada banda de parénquima esponjoso en la porción central del limbo foliar. Una hoja en la que el parénquima en empalizada se encuentra sólo en una cara y el parénquima lagunar en la otra, se llama dorsiventral o bifacial; mientras que cuando el parénquima en empalizada se encuentra en ambas caras de la hoja se dice que es equilateral o equibilateral (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

Las células del parénquima esponjoso tienen distintas formas: pueden parecerse a las células del parénquima en empalizada, ser isodiamétricas, o alargadas en dirección paralela a la superficie de la hoja. Sin embargo, es característica del parénquima esponjoso la presencia de espacios intercelulares, así como de lóbulos en sus células que contactan con los de las células vecinas. La posibilidad de distinguir entre parénquima en empalizada y esponjoso no es siempre fácil, especialmente cuando el primero tiene varias capas. Las

hojas concéntricas tienen parénquima en empalizada alrededor de la circunferencia de la hoja. En monocotiledóneas, el mesófilo generalmente no presenta diferencia entre esponjoso y empalizada, sino que se presenta como un tejido clorofílico homogéneo(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

En la mayor parte de las hojas existe una capa especializada de células llamadas mesófilo paravenal, que media en la transferencia de asimilados del mesófilo de empalizada y esponjoso hacia el floema. El mesófilo en gimnospermas es de naturaleza parenquimatoso; en pinos se presenta el parénquima plegado como tejido fotosintético. El parénquima es en empalizada en las dicotiledóneas (**Figura 57**) (4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

En este tipo de parénquima, las paredes de las células del mesófilo tienen invaginaciones características en forma de cresta dirigidas hacia el lumen celular. Estas células contienen cloroplastos, en el mesófilo se encuentran también conductos resiníferos(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).



**Figura 57. Hoja de *Ligustrum***

## Tejido vascular

La nervadura o venación de la hoja está constituida por un sistema complejo de haces vasculares o venas distribuidos por toda la lámina y en estrecha relación con el mesófilo. Las hojas de la mayoría de las dicotiledóneas tienen una vena media y una red de venas progresivamente menores, que forman un sistema de venación reticulada. La venación paralela es frecuente en monocotiledóneas, en donde sus venas de tamaño similar están interconectadas por haces delgados que se encuentran dispersos en toda la lámina. En ambos tipos de venación, las venas menores juegan un importante papel en el transporte de agua y fotosintatos, ya que distribuyen la corriente transpiratoria a través del mesófilo

y sirven como puntos iniciales en la toma de productos de la fotosíntesis y de su transporte fuera de la hoja. Los tejidos vasculares presentan un crecimiento primario, el protoxilema está en la cara adaxial y el metaxilema en la cara abaxial, cerca del floema(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

En gimnospermas las hojas aciculares de Pinus tienen uno o dos haces vasculares; en el último caso, ambos están muy próximos. La disposición de protoxilema y metaxilema es la misma que en las angiospermas, el protoxilema está en la cara adaxial y el metaxilema en la cara abaxial, cerca del floema. El haz está rodeado de un tejido de transfusión que consta de traqueidas y de células parenquimáticas vivas. Las células parenquimáticas contienen taninos, resinas y, en algunas estaciones del año, almidón. Los haces vasculares y el tejido de transfusión, están rodeados por una vaina de células con paredes relativamente gruesas, tejido que conforma la endodermis(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

## **Vaina del haz**

Las venas mayores de las hojas de dicotiledóneas están rodeadas por células de parénquima con pocos cloroplastos, mientras que las venas menores aparecen en el mesófilo. Las venas menores no están en contacto con espacios intercelulares sino que están rodeadas por una vaina vascular; en dicotiledóneas, esa vaina se llama también parénquima de borde. La vaina se extiende hasta la terminación de las venas y encierra por completo hasta las traqueidas terminales. En muchas dicotiledóneas, hay láminas de células, similares a la vaina, que se extienden de la vaina hacia una o ambas epidermis; algunas terminan en el mesófilo, mientras que otras alcanzan la epidermis. Estas láminas o bandas se llaman extensiones de la vaina y pueden contener lignina o suberina en las



paredes de sus células. Las vainas y sus extensiones participan en la conducción de agua y solutos; las vainas vasculares pueden estar encerradas por colénquima y/o esclerénquima. En monocotiledóneas, sobre todo en gramíneas, se distinguen vainas del haz de dos tipos: vainas simples o doble vaina foliar; el mestoma, vaina interna con paredes celulares gruesas, y la vaina externa de parénquima con paredes delgadas y plastidios(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

## **Tejidos de sostén**

La epidermis da consistencia a la lámina debido a su estructura compacta, así como por la presencia de cutícula y diversas impregnaciones de sustancias ergásticas; un eficaz sistema de sostén es el colénquima próximo a las venas mayores, así como en los márgenes de las hojas de dicotiledóneas y las extensiones de la vaina del haz, que puede ser de colénquima. Asimismo, se encuentran esclereidas en el mesófilo de muchas dicotiledóneas. Las venas mayores y las de tamaño medio se encuentran acompañadas por grupos de fibras. En hojas de monocotiledóneas, además de las fibras de los haces vasculares, se presentan paquetes de fibras inmersas en el mesófilo(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

## **Estructuras secretoras**

Algunas hojas presentan estructuras secretoras como glándulas, cavidades de aceites, conductos resiníferos, idioblastos que pueden contener distintos tipos de cristales y cistolitos así como hidátodos, que son estructuras secretoras especializadas en la secreción de agua, provocando el fenómeno de gutación(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

## **Adaptaciones al medio**

Los trofófilos u hojas fotosintéticas varían en cuanto a complejidad, forma, tamaño y anatomía, según su adaptación al medio. La hoja es la estructura más variable en la planta y ha sido el órgano indicador de las condiciones ambientales; cada ecosistema muestra tipos de hojas que los caracterizan(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

## **Hojas de sol y sombra**

El nivel de iluminación que una hoja recibe durante su desarrollo, es la más importante influencia ambiental que afecta la estructura y desarrollo de la misma; las hojas varían de acuerdo a la intensidad de luz y a la calidad de la misma. Hojas expuestas a luz intensa tienden a ser pequeñas y gruesas e incrementan el mesófilo por unidad de área, así como la cantidad de estomas, venas y parénquima clorofílico, en comparación con hojas de sombra. Las diferencias internas en la estructura de la hoja están relacionadas al grosor de sus células, cantidad y distribución de parénquima en empalizada y parénquima esponjoso. En hojas de sol, el mesófilo usualmente contiene un incremento en el número de capas de parénquima en empalizada. La cutícula foliar es más gruesa que la de hojas de sombra y, si existen pubescencias, son abundantes. En estas hojas, el buen desarrollo de la cutícula puede reflejar la radiación solar y proteger los tejidos internos (4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

Las hojas que se desarrollan en bajas condiciones de luz son delgadas, presentan la región del mesófilo con escaso parénquima en empalizada y abundantes espacios intercelulares en el parénquima esponjoso. La baja cantidad de luz puede causar reducción en la densidad de vasos. También es usual que la epidermis abaxial o las capas internas a ella, contengan

pigmentos que contribuyan a captar luz; por ello, muchas de estas hojas tienen un color violáceo en la superficie abaxial(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

## **Hojas xeromórficas**

Los xerófitos son vegetales que crecen en hábitats áridos y con sus particularidades anatómicas, morfológicas y fisiológicas, controlan sus niveles de agua en la conservación de la misma, a manera de que su transpiración disminuye al máximo en condiciones de deficiencia hídrica. Las plantas desarrollan características estructurales que son adaptaciones a hábitats áridos, por lo que se denominan xeromórficas. El xeromorfismo, sin embargo, no está limitado a las xerófitas y no todas las xerófitas poseen necesariamente caracteres xeromórficos. Las xerófitas incluyen especies con especializaciones divergentes como: la pérdida de hojas, cambio de posición u orientación de las hojas, enrollamiento de las mismas, hojas suculentas, pequeñas o reducidas a espinas. La reducción del tamaño de la hoja está relacionada con la del índice de transpiración; sin embargo, en algunos casos, lo está con un aumento en el número total de hojas por planta(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

Los efectos de los factores ambientales sobre la morfología y anatomía de la hoja producen una amplia variedad de adaptaciones en diferentes taxa; algunos incrementan el grosor de las paredes de sus células epidérmicas, el de la cutícula, así como la densidad de tricomas y estomas; reducen el área del estoma, o presentan estomas hundidos, reduciendo al mismo tiempo el grado de pérdida de agua. Incrementan la lignificación de paredes celulares, la succulencia y la capacidad para almacenar el agua, así como la acumulación de mucílagos, ayudando a la planta a tolerar la deshidratación y evitar la

muerte por deficiencia hídrica. Abundantes tricomas y estomas hundidos en criptas o surcos recubiertos por tricomas o cubiertas cerasas o resinosas, funcionan como protección; otro rasgo evidente dentro de las hojas xeromórficas, es la pequeña relación entre la superficie externa foliar y su volumen, acompañada por cambios internos como una reducción del tamaño celular, un aumento del grosor de las paredes celulares, una mayor densidad del sistema vascular, un incremento del tejido en empalizada a expensas del parénquima esponjoso. Este factor favorece el transporte de agua hacia la epidermis ya que éste es mayor a través del tejido en empalizada que del parénquima esponjoso. El aumento de parénquima en empalizada, incrementa la actividad fotosintética, así como el índice de transpiración en condiciones de disposición favorable de agua; por otro lado, la baja proporción de parénquima esponjoso favorece la disminución de espacios intercelulares. En hojas xeromórficas céntricas, las células en empalizada están dispuestas radialmente alrededor de los haces vasculares centrales y, por lo tanto, en condiciones favorables de suministro de agua(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

Existen especies que, aunque crecen en condiciones de humedad favorables, tienen hojas xeromórficas; sin embargo, en la mayoría de los casos existe una correlación entre los rasgos xeromórficos y las condiciones de sequedad del hábitat.

Se pueden mencionar los siguientes tipos de hojas xeromórficas(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41):

**Hojas esclerófilas.** En medio ambiente seco, algunas hojas muestran incremento en esclerosis, cutinización y lignificación, formando hojas coriáceas o esclerófilas. Este tipo de

hojas tiende a ser gruesa, compuesta por células altamente lignificadas con gruesas paredes celulares cutinizadas formando su epidermis. Su venación es densa y las nervaduras están incrementadas en tamaño. La cantidad de tricomas frecuentemente es acentuada y, en casos extremos, los tricomas son lignificados. Una o varias capas de células lignificadas se presentan inmediatamente bajo la epidermis en forma de hipodermis. El incremento de células esclerificadas está correlacionado con el buen desarrollo y lignificación de las bandas alrededor de las venas, todo funciona como soporte. Con frecuencia, se desarrolla abundante parénquima en empalizada y tiende a decrecer el parénquima esponjoso y los espacios intercelulares. El mesófilo en algunas esclerófilas es isobilateral. En algunas especies, los estomas están hundidos protegidos por pubescencias, o por gruesas cutículas que les ayudan a no perder humedad. Esta anatomía no siempre está relacionada con la aridez, también puede presentarse en especies que crecen en suelos pobres en nutrientes (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

**Hojas ericoideas.** En la producción de pequeñas hojas de diferentes formas, la reducción del tamaño de la hoja ha resultado como mecanismo de protección. La formación de hojas cortas y lineares, está asociada con una reducción de la superficie; esta forma es conocida como ericoidea, y entre sus adaptaciones muestra células traqueidales anchas y cortas entre las células en empalizada, las cuales se considera que tienen la función de almacén de agua. Los estomas se presentan en posición longitudinal bajo la superficie; los tricomas pueden ocupar las líneas de los estomas o estar sólo en el borde. En muchas especies, la lámina muestra un enrollamiento prominente del margen o de la hoja, hasta llegar a formas cilíndricas (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

**Hojas suculentas.** Como en otras xerófitas, las hojas suculentas muestran epidermis con frecuencia gruesa y cutinizada. Se reporta que una planta suculenta puede almacenar seis veces más la proporción de agua que una planta no suculenta. Asimismo, se almacenan sustancias mucilaginosas; en ambos casos, esto se da en células de paredes delgadas con alta turgencia, y en ocasiones, presentan escaso o nulo esclerénquima(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

**Hojas halófilas.** Las plantas halófilas están capacitadas para tolerar vivir en medio ambiente salino, con falta de agua o de compuestos nitrogenados. Esta adaptación es considerada un tipo de xeromorfismo. Las especies halófilas muestran adaptaciones anatómicas y fisiológicas que incluyen engrosamiento de paredes y cutículas, o rasgos de suculencia(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

La iluminación intensa y el retardo en el flujo de agua, determinan un incremento en el tejido empalizada con un incremento en la actividad fotosintética. Asimismo, presentan tejido parenquimático desarrollado que almacena agua; el tejido consta de grandes células con amplias vacuolas que contienen un jugo celular diluido o mucilaginoso que incrementa la capacidad de la planta para acumular sal. Algunas especies tienen células o tejidos secretores. Presentan estructuras como glándulas de la sal o pelos secretores de sal, así como una hipodermis con posible acumulación del mismo producto. Pueden concentrar sal en sus tejidos gracias a que presentan mecanismos para expulsarla del cuerpo, como pelos o glándulas multicelulares, regularmente conectados al mesófilo por plasmodesmos; las glándulas están protegidas por una capa de cutina, a excepción del poro por el que se expulsa la sal (4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

Asimismo, se pueden presentar tricomas en la superficie que acumulan sal. Éstos están conformados de una célula ensanchada en la base con una vacuola central que acumula sal; eventualmente, esta sal es depositada en la superficie de la epidermis donde forma una capa que refleja la luz y protege a la planta; y también ayuda a disminuir la herbivoría. En algunas halófilas, los estomas se cierran debido a la alta concentración de sodio, previniendo la excesiva acumulación y controlando los grados de transpiración(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

Hojas de plantas alpinas. Las especies alpinas están expuestas a la intensidad luminosa y a fuertes vientos. Aunque la estructura interna de las plantas alpinas varía con las especies, con frecuencia muestran una o más características relacionadas con especies xeromórficas. Las hojas de un número de especies de montaña están cubiertas con abundantes tricomas tanto en hojas como en tallos, lo que se asocia con funciones como: reducir la absorción de la luz, incrementar la reflectancia durante largos periodos de altas temperaturas y luz brillante o sequía, reducir la difusión de gases a través de la hoja y la superficie pilosa, reducir la predación por insectos o herbivoría en general. La pubescencia también puede regular la temperatura de la hoja y disminuye el potencial letal en altas temperaturas. Las hojas de plantas alpinas al mismo tiempo poseen epidermis de células con gruesas paredes y cutículas gruesas; mientras que el mesófilo tiende a estar compuesto de varias capas de parénquima en empalizada(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

Hojas de plantas epífitas. Algunas especies epífitas, como los integrantes de la subfamilia Tillandsioideae, presentan hojas cubiertas con densas capas de elaborados tricomas absorbentes. Estas plantas tienen una estructura xeromórfica y los tricomas facilitan el

rápido movimiento de agua y minerales dentro de la planta. Como resultado de los tricomas, ciertas especies están capacitadas para sobrevivir sin raíces. Los pelos individuales son estructuras peltadas compuestas de un disco formado de múltiples células muertas, sustentadas por células vivas que están conectadas a la epidermis y cuya función es conducir al mesófilo. Los tricomas permiten la entrada de agua en periodos de lluvia o humedad externa y retienen el agua en periodos de sequía(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

## **Hojas de plantas acuáticas (Hidrófilos)**

Opuestos a los ecosistemas de zonas áridas, existen los ecosistemas acuáticos, donde las hojas presentan adaptaciones anatómicas totalmente diferentes a las especies xeromórficas(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

El agua crea un hábitat muy uniforme y, por ello, la estructura anatómica de las plantas acuáticas es menos variada que la de los xerófitos. Los factores que influyen en las plantas acuáticas son: la temperatura, el aire y la concentración y composición de las sales disueltas. La transición secundaria de plantas terrestres a plantas acuáticas, ha ocurrido de forma independiente entre los diferentes grupos de angiospermas. Existen plantas acuáticas que muestran todos los estados de esta transición con hojas flotantes, o permanentemente sumergidas; estos tipos de hojas varían considerablemente en respuesta a los cambios en el hábitat, aunque todas están caracterizadas por la presencia de aerénquima; tejido parenquimático con abundantes y grandes espacios intercelulares. Las plantas emergentes no presentan amplias modificaciones anatómicas como las plantas flotantes y sumergidas, cuyas características están ampliamente relacionadas con el hábitat acuático, como la manifiesta reducción de los tejidos de protección, soporte y



conducción, además de la presencia de cámaras de aire conformadas por aerénquima con espacios intercelulares que normalmente tienen forma regular y atraviesan toda la hoja. Las cámaras aéreas están separadas por tabiques delgados de una o dos capas de células que contienen cloroplastos; en las cavidades aéreas alargadas aparecen tabiques transversales o diafragmas formados por una capa de células con pequeños espacios intercelulares, que presentan poros pequeños y que permiten el paso de gases, pero no de agua. Este tejido brinda estabilidad mecánica a la planta y la provee de oxígeno y dióxido de carbono, generados por la planta y utilizado nuevamente en la fotosíntesis(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

Sus células epidérmicas poseen cloroplastos que incrementan la absorción de la luz y fotosíntesis, aunque éstos decrecen al incrementar el nivel de agua y decrecer la luz. Anatómicamente, presentan respuestas al exceso de agua y disminución de oxígeno. La cutícula de la epidermis generalmente es ausente o extremadamente delgada, no cumple la función de protección, pero sus células están modificadas para facilitar la absorción de gases y nutrientes directamente del agua. Los estomas están completamente ausentes en hojas permanentemente sumergidas; en hojas flotantes, la lámina es dorsiventral y los estomas están restringidos a la superficie adaxial de la lámina. El esclerénquima generalmente está reducido o ausente, aunque puede existir en algunas angiospermas marinas, formando bandas a lo largo de los márgenes foliares(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

Grupos no relacionados de plantas acuáticas desarrollan hojas de dos morfologías y anatomías diferentes sobre el mismo tallo (4, 5, 6,15, 16, 38 y 41):

una forma de hoja sumergida y otra aérea. Esta condición es conocida como heterofilia o dimorfismo foliar. Las hojas que se originan del eje aéreo usualmente son hojas no divididas con lóbulos enteros o dentados, con estomas y con mesófilo bifacial y zona de parénquima en empalizada. Las hojas de la misma especie que se generan en ápices sumergidos, son altamente disectadas desprovistas de estomas y cutícula, no tienen diferenciado el mesófilo, falta el parénquima en empalizada, domina el aerénquima, y tienen reducidos los patrones de venación. En cuanto al número de hojas, las plantas sumergidas presentan un mayor número de hojas que las flotantes (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

## **Pecíolo**

Algunas hojas nacen directamente del tallo, éstas son denominadas hojas sésiles, otras presentan el pecíolo, que da continuidad a los tejidos del tallo y, a partir de él, se continúa la lámina u hoja. Existen semejanzas entre los tejidos del pecíolo y los del tallo: la epidermis del pecíolo se continúa con la del tallo. Las células parenquimáticas del pecíolo, en el córtex, contienen pocos cloroplastos, sobre todo comparadas con las de la lámina foliar; los tejidos de sostén del pecíolo son colénquima y/o esclerénquima; los haces vasculares del pecíolo pueden ser colaterales, bicolaterales o concéntricos; el floema está acompañado, en muchas especies por grupos de fibras. La disposición de los tejidos vasculares en sección transversal, pueden aparecer en forma de media luna interrumpida, haces vasculares o interrumpido, como un anillo con haces adicionales externos e internos, o con haces vasculares dispersos. Si existe un sólo haz colateral en el pecíolo, el floema se encuentra en la cara abaxial; si los haces se disponen en un anillo, el floema es externo al xilema en la periferia del anillo. El parénquima medular está presente, y es

similar a la posición del tallo. Por lo que el pecíolo es una síntesis del crecimiento primario del tallo (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

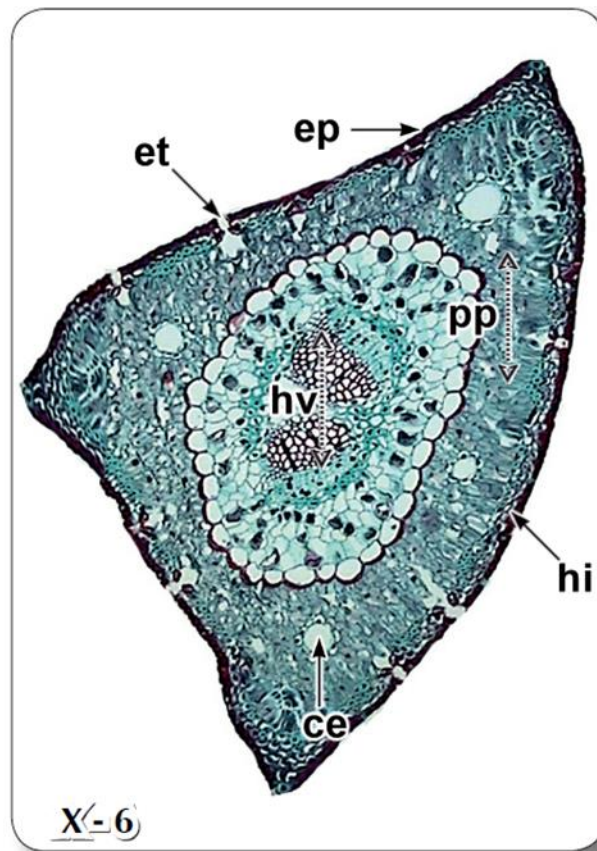
## **Nota de interés**

Las hojas son importantes órganos donde se almacenan diversos productos elaborados por la planta. Son apreciadas por su alto valor nutritivo como fuente de carbohidratos, proteínas, grasas, vitaminas y minerales; de ahí que sean consumidas como verdura o que formen parte de ensaladas. Especies como *Spinacea oleraceae* (espinacas) y *Brassica oleracea* (repollo o col), son ricas en beta carotenos, por lo que su consumo ayuda a disminuir problemas visuales, la alta concentración de colesterol en sangre y el desarrollo de cáncer, debido a su actividad antioxidante. El consumo de cultivares de *Brassica oleracea* (brócoli, col de Bruselas o coliflor), por mencionar algunos, ayudan a disminuir estrógenos en el organismo por lo que se asocian a una disminución en el porcentaje de cáncer de mama. Tanto *Apium graveolens* (apio), como *Spinacea oleraceae* (espinacas), son fuente de ácido fólico y hierro, sustancias precursoras de la síntesis de ácidos nucleicos, fundamentales en la división celular (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

Diversas especies aromáticas, gracias a su contenido de aceites esenciales u oleorresinas en sus hojas, son utilizadas en la elaboración de perfumes o de uso ritual en ceremonias religiosas, especies como *Rosmarinus officinalis* (romero), *Ocimum bacilicum* (albahaca) y *Origanum majorana* (mejorana), son plantas sagradas en la India. Asimismo, existe evidencia de que con una antigüedad de por lo menos 5 000 años, los egipcios ya

utilizaban especies aromáticas en sus procesos de momificación: especies como *Mentha* sp. (Menta) y *Origanum majorana* (mejorana) se utilizaban como relleno de los cadáveres con el fin de neutralizar malos olores (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

Muchas otras especies de hojas aromáticas son utilizadas como condimento u especias para dar sabor a diferentes guisos, entre ellos a productos del mar o a cortes de carne, donde neutralizan los aromas; éstos brindan un buen sabor, amplían el periodo de buen estado de los alimentos por sus agentes antibacterianos y fungicidas, y los prevén de vitaminas, principalmente A, B y C. Las hojas también guardan numerosos metabolitos que brindan grandes beneficios, muchas especies, por las propiedades de sus hojas, son fundamento de nuestra rica medicina tradicional, además, son aprovechadas por la industria farmacéutica en la elaboración de medicamentos tanto alópatas como homeópatas. Asimismo, algunos metabolitos principalmente alcaloides, posibilitan el uso de las especies como psicotrópicas, brindándoles tanto la posibilidad de causar problemas sociales como de dar grandes beneficios, de acuerdo a la forma en que sean utilizadas por las poblaciones humanas (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).



**Figura 58. *Pinus* sp. Gymnospermae. Sección transversal de hoja 100x. Epidermis (ep), hipodermis (hi), estoma (et), parénquima plegado (pp), nervadura (hv), canal resinífero (ce). Fuente: (Azacarraga y et al, 2010)**

## XII. FLOR

En esta unidad está estructurada de la siguiente manera:

- Resumen de la unidad
- Tipos de tejidos que forman a la flor
- Origen
- Estructura
- Formas de reconocimiento de los órganos vegetales
- Notas de interés
- Actividades para el alumno

Esta Unidad de contenidos está relacionada con la Unidad XII del programa de Anatomía de plantas Cultivadas

### Resumen

La flor es el órgano especializado en la reproducción sexual de las angiospermas, existiendo gran variedad morfológica en ellas. Una flor completa está formada por cuatro verticilos florales, el más externo es el cáliz, formado por sépalos que generalmente son de color verde; continúa la corola, conjunto de pétalos que suelen ser coloridos; el androceo, constituido por los estambres; y el gineceo, formado por los carpelos. Todas estas piezas florales están insertas en un arreglo helicoidal o verticilado sobre el receptáculo floral. Al conjunto de sépalos y pétalos se le llama perianto y, cuando ambos verticilos son semejantes, conforman un perigonio formado por tépalos. Si no hay

perianto, la flor es desnuda; y si no hay corola, la flor es apétala. El androceo y el gineceo son los verticilos fértiles, mientras que el cáliz y la corola son los estériles. Cuando una flor presenta androceo y gineceo se dice que es hermafrodita; si le falta el gineceo es estaminada o masculina y si le falta el androceo es pistilada o femenina. Las plantas pueden tener una sola flor y entonces se dice que la flor es solitaria; en cambio, cuando están dispuestas en grupos constituyen lo que se conoce como inflorescencia. Las flores están unidas al eje de la inflorescencia o al tallo por el pedicelo. La estructura anatómica del eje de la inflorescencia y del pedicelo es parecida a la del tallo.

## Sépalos y pétalos

La estructura externa de sépalos y pétalos, generalmente es parecida a la encontrada en las hojas verdes o fotosintéticas, no es el caso de su estructura interna que es diferente en sépalos coloridos y en pétalos. Los sépalos, cuando son de color verde y los pétalos menos especializados, presentan una estructura interna semejante a la de las hojas con un tejido en empalizada, haces vasculares y mesófilo bien desarrollados (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

En general, los tejidos que se observan en sépalos y pétalos son: epidermis, parénquima y tejido vascular ramificado (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

**Epidermis.** Está formada por células de paredes delgadas que contienen pigmentos; puede tener estomas pero no son funcionales; y, ocasionalmente, también puede presentar tricomas. En pétalos, la pared externa de las células epidérmicas con frecuencia

presenta papilas, lo que origina que tengan una apariencia aterciopelada, siendo más abundantes en la cara adaxial que en la abaxial. Algunas veces en la epidermis se presentan espacios intercelulares cubiertos por la cutícula (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

**Mesófilo.** Está frecuentemente formado por parénquima esponjoso cuyas células contienen pigmentos, carotenoides en cromoplastos, o flavonoides en vacuolas. Este tejido raras veces se diferencia en parénquima en empalizadas y esponjoso (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

**Tejido vascular.** Se encuentra poco desarrollado, formando haces vasculares donde generalmente no se desarrolla esclerénquima (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

## **Androceo (Estambres)**

Los estambres representan el verticilo masculino de las flores, cada uno consiste de un filamento que lleva en el ápice una antera formada por dos lóbulos o tecas unidas por el conectivo que es la continuación del filamento. Cada teca está integrada por dos sacos polínicos que contienen el polen. Pueden presentarse uno o más estambres y en diferentes arreglos, dependiendo de la especie; pueden estar separados uno de otro (estambres libres); unidos por sus filamentos formando un solo grupo (monadelfos); fusionados a los pétalos (epipétalos) o al gineceo (ginandria), entre otras formas; en otros casos pueden faltar, como en las flores femeninas o neutras. En gimnospermas, los granos de polen se agrupan en estróbilos o conos que varían en forma y tamaño. El estróbilo



tiene un eje central formado por brácteas arregladas en forma de espiral; y en la superficie abaxial de cada escama se encuentran dos a más sacos de polen (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

## **Filamento**

En algunas flores, los estambres carecen de filamento; sin embargo, cuando está presente consta de los siguientes tejidos (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41):

**Epidermis.** En este tejido, las células presentan cutícula y en algunas especies se desarrollan tricomas.

**Parénquima.** Sus células están separadas por espacios intercelulares pequeños, presentando con frecuencia pigmentos en el citoplasma así como vacuolas bien desarrolladas.

**Tejido vascular.** Generalmente consta de un haz vascular.

## **Antera**

Cuando los estambres son fértiles presentan anteras, que varían en tamaño de una especie a otra; cada una está formada generalmente por dos tecas conformadas a su vez por dos sacos polínicos, donde se desarrolla el polen; ambas tecas están separadas por el conectivo. La forma de las anteras y en ocasiones el número de tecas en ellas pueden variar; así, en la familia Malvaceae, los estambres presentan anteras con una sola teca y por lo tanto, dos sacos polínicos. Para liberar el polen, la dehiscencia de las anteras es longitudinal en la mayoría de las flores; es decir, a lo largo de las tecas, aunque hay otros

tipos de dehiscencia como la poricida que es a través de poros en su ápice o de tipo valvar a través de valvas. En ocasiones, los estambres carecen de anteras; en este caso son estériles y se les conoce como estaminodios (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

En anteras maduras la pared está formada por varias capas de células (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41):

**Epidermis.** Formada por una capa de células.

**Endotecio.** Capa de células situada por debajo de la epidermis. La pared celular de estas células se engrosa antes de que los granos de polen sean liberados y, al parecer, el endotecio está involucrado en la dehiscencia de las anteras para liberar el polen.

**Tapete o tapetum.** Tejido que se forma por la diferenciación gradual de la pared de la antera; su función es nutrir a las células madres del polen en vías de desarrollo y participar en la formación de la pared del polen (microsporas). Sus células son ricas en protoplasma con núcleo prominente, y llegan a ser multinucleadas. En algunas angiospermas, el tapete consiste de una capa delgada de células.

**Conectivo.** Está formado por tejido parenquimático estéril, cuyas células más cercanas al tejido esporógeno de los sacos polínicos están altamente especializadas formando capas. El conectivo es atravesado por un haz vascular que es la continuación del que proviene del filamento.

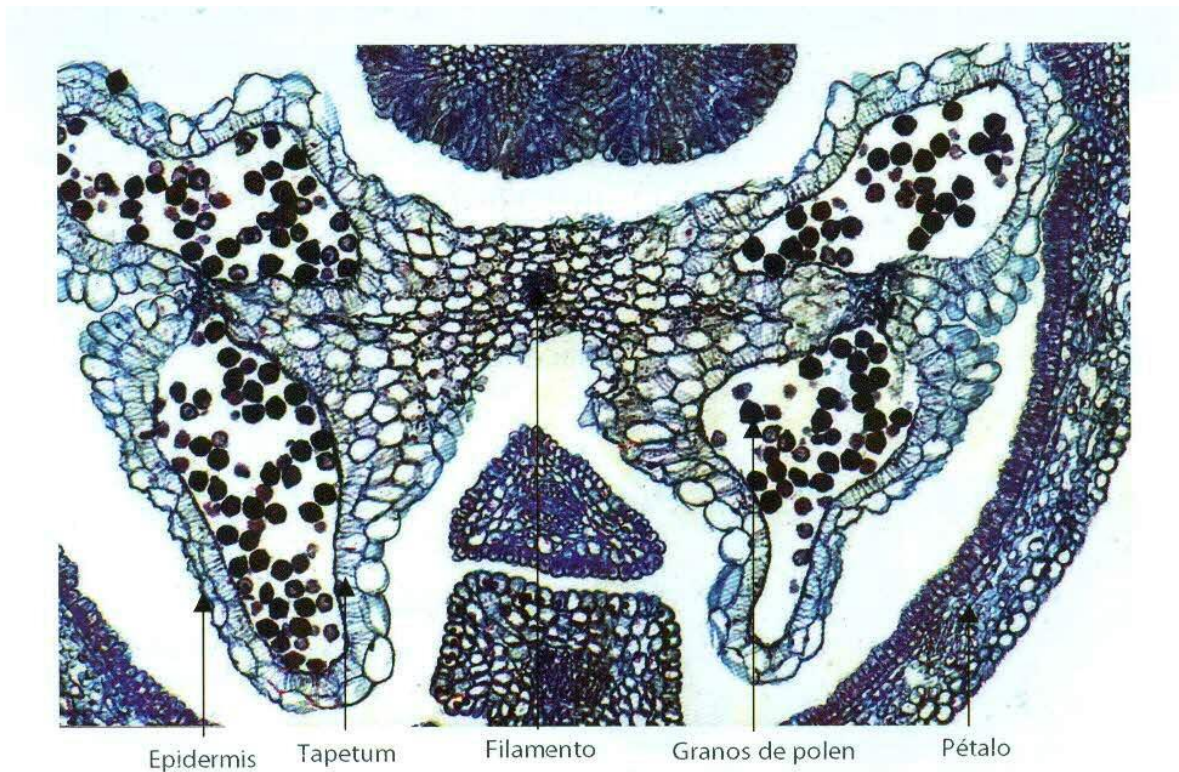
## **Polen maduro**

Dentro del saco polínico se lleva a cabo la microesporogénesis, proceso que genera la formación de tétradas de microsporas haploides; antes de la dehiscencia de la antera, el núcleo de cada microspora se divide por mitosis transformándose en una estructura que consta de una célula vegetativa y una o dos células generatrices, conformando el grano de polen o gametofito masculino. Las microsporas generalmente llegan a separarse de la tétrada conforme madura la antera, al tiempo que adquieren, una forma y ornamentación de la superficie característicos; posteriormente se liberan como granos individuales conocidos como mónadas; sin embargo, pueden permanecer unidos en tétradas o éstas a su vez congregarse formando grupos de hasta 64 granos de polen, como en especies del género *Acacia*; también todos los granos de polen de un saco polínico pueden quedar agrupados en una sola masa llamada polinio, como el caso de las especies de la familia *Asclepiadaceae*(4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

La estructura de un grano de polen maduro consta de dos capas, la externa llamada exina, derivada del tapete, rodea a la capa interna conocida como intina. Algunas veces se utiliza el término esporoderma para hacer referencia a ambas. La intina está compuesta principalmente de poliuronoides o una mezcla de poliuronoides y polisacáridos, así como celulosa encontrada en su parte interna. La exina está formada principalmente de una sustancia lipóide llamada sporopolenina, menos soluble que la cutina o suberina, resistente a varios químicos, altas temperaturas y agentes dañinos como algunos hongos y bacterias. La exina, a su vez, consiste de dos capas, una es la ectexina o sexina que en muchas especies presenta depresiones, retículas, estriaciones, espinas u otras ornamentaciones (figs. XI-32 y 33); la segunda capa es la endexina o nexina que cubre totalmente a la intina.

En los granos de polen de Pinus se observan cámaras de aire cuya formación se lleva a cabo por la separación de la ectexina de la endexina(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

La mayoría de los granos de polen tienen aberturas en su superficie, variando de una a muchas, estas son áreas específicas donde la exina es muy delgada o no existe y a través de ellas emerge el tubo polínico durante la germinación del grano de polen (**Figura 59**).El número de aberturas presentes y los diversos tipos de escultura de la superficie de los granos de polen son útiles en su clasificación. De acuerdo a la forma que tienen las aberturas, se puede hablar en general de tres tipos: de surco (polen sulcado), redonda en forma de poro (polen porado) o en forma de anillo o banda (polen zonado). En monocotiledóneas, frecuentemente los granos de polen son de forma oval y monosulcados, es decir con una sola abertura en forma de surco. Las dicotiledóneas suelen tener tres aberturas que, cuando son alargadas, se llaman colpos(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).



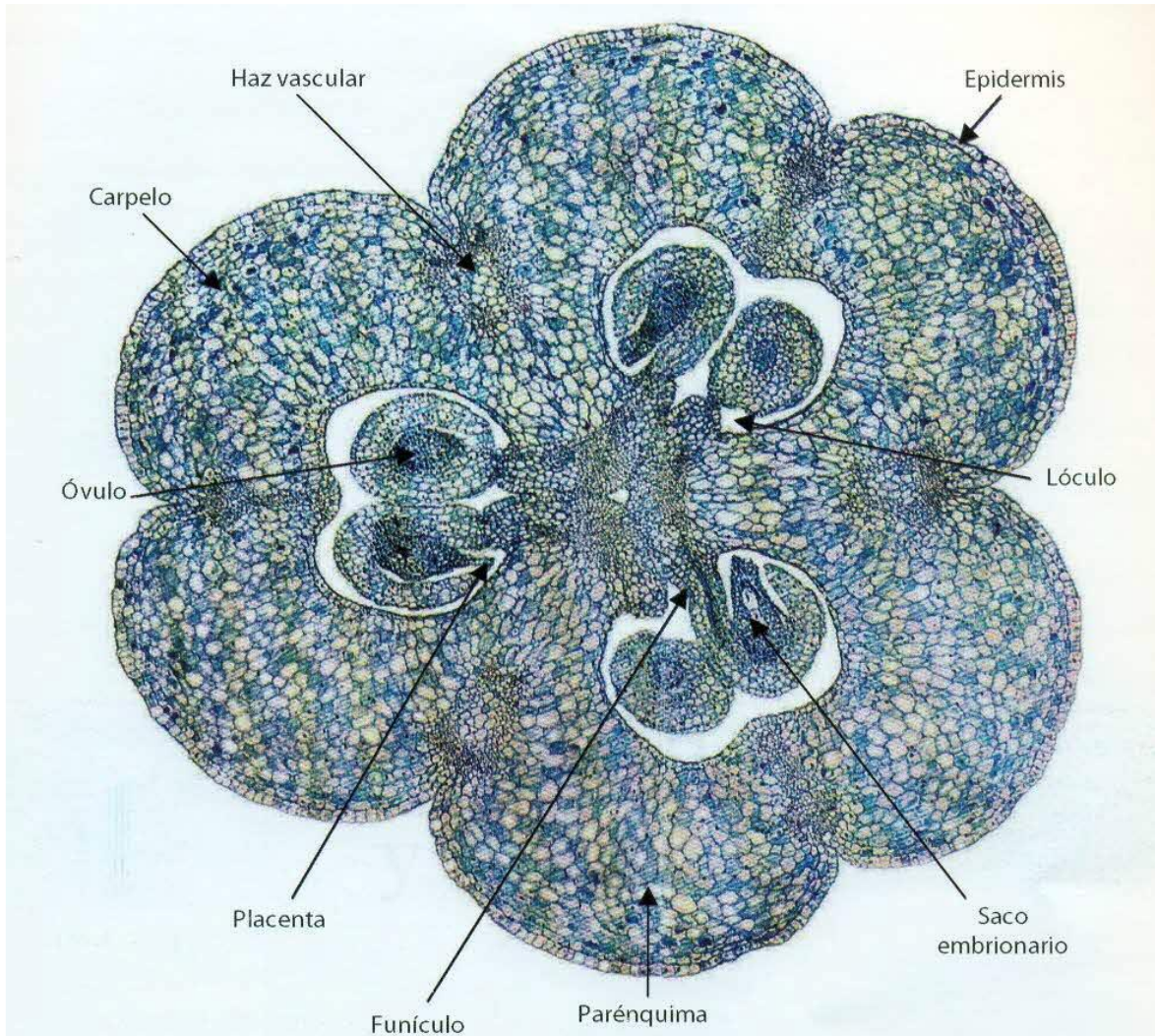
**Figura 59. Antera y sacos polínicos de *Ligustrum***

## **Gineceo (Carpelos)**

Los carpelos constituyen el gineceo, en algunos textos citado como pistilo, es la estructura que representa el verticilo femenino de la flor; está formado por: el ovario, que contiene los rudimentos seminales u óvulos unidos a los carpelos por la placenta; el estilo originado por la prolongación de la pared del ovario y el estigma que es la parte receptora del polen, situado en el ápice del estilo. Cuando el gineceo se sitúa por encima de las otras piezas florales se dice que el ovario es súpero; si se sitúa por debajo de ellas, es ínfero; y

cuando los sépalos, pétalos y estambres se insertan sobre un disco lateralmente extendido, el tubo floral o hipantio, quedando colocados por encima del ovario (**Figura 60**), es semiínfero (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

El número de carpelos en el gineceo varía y pueden estar libres (flor apocárpica) o fusionados (flor sincárpica). En su estructura interna, cada carpelo está constituido por epidermis con cutícula, parénquima y tres haces vasculares: uno dorsal, homólogo al nervio medio de la hoja y dos haces externos, uno a cada lado del medio; se llaman haces marginales si tienen una posición lateral respecto al haz dorsal, y si la posición es ventral, son haces ventrales. Pueden presentarse mayor número de haces vasculares o reducción de éstos (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).



**Figura 60.** Ovario de *Lilium*

## Estilo y estigma

El estilo y el estigma presentan características particulares enfocadas a facilitar la germinación y penetración de los tubos polínicos hacia los rudimentos seminales. En el estigma, las células de la epidermis son ricas en protoplasma y están cubiertas de una cutícula. La epidermis suele ser papilosa y segrega un fluido estigmático que consiste principalmente de aceites, azúcares y aminoácidos. En muchas especies, las células de la

epidermis del estigma originan tricomas cortos, como en Malvaviscus o largos y ramificados como en las gramíneas. En el estigma, estilo y el ovario hay un tejido especializado llamado tejido de transmisión a través del cual penetra el tubo polínico. El estilo puede ser hueco o sólido; cuando es hueco, como en los gineceos sincárpicos, puede tener uno o varios canales los cuales se encuentran recubiertos de tejido de transmisión que puede ser papiloso, este tejido también puede recubrir la placenta. Además del tejido de transmisión, el estilo está conformado por parénquima, tejido vascular y epidermis con cutícula, presentando frecuentemente estomas (4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

## **Ovario**

El ovario puede estar formado por uno o más carpelos que constituyen la pared del ovario y por el lóculo (s), cavidad o cavidades donde se encuentran los rudimentos seminales. Cada carpelo tiene dos placentas en la superficie interna, donde están adheridos los rudimentos seminales. Existen diferentes tipos de placentación, dependiendo de la distribución de los rudimentos seminales en el carpelo: axilar, marginal, basal, central y parietal. La estructura del ovario está formada por una epidermis externa con cutina, puede ser glabra o pubescente, presentando en ocasiones estomas; una epidermis interna, tejido parenquimático y haces vasculares. En algunas flores también se presenta esclerénquima e idioblastos con cristales y taninos (4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).



## Rudimento seminal

El rudimento seminal, tradicionalmente llamado óvulo, es una estructura donde se lleva a cabo la formación de la megaspora que originará el saco embrionario (megagametofito). En angiospermas, el óvulo se deriva de la placenta del carpelo y consiste de las siguientes estructuras: la nucela, situada en la parte central y rodeada de uno o dos tegumentos que la protegen y nutren; el funículo, tejido que une al óvulo con la placenta; y el micrópilo, pequeña abertura por donde generalmente penetra el tubo polínico y la calaza, zona en la que los tegumentos se fusionan con el funículo (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

Al inicio de la ontogenia del óvulo, generalmente una célula bajo la epidermis de la región distal de la nucela, aumenta de tamaño y entonces se le da el nombre de célula arquesporial, la cual puede dividirse mitóticamente en sentido periclinal y dar origen a una célula parietal que desarrollará una capa subepidérmica, y a una célula madre de las megasporas. Esta célula se divide meióticamente y da origen a cuatro megasporas haploides; generalmente una de ellas forma el megagametofito o sacoembrionario y las otras tres se degeneran. El saco embrionario, en la mayoría de las angiospermas está integrado por siete células: una célula huevo, dos sinérgidas, una central (con dos núcleos) y tres antípodas. Todas las superficies de las diferentes partes del óvulo se encuentran cubiertas de cutícula, generalmente tienen un tipo simple de vascularización, desarrollando un solo haz vascular proveniente de una de las ramas de las venas del carpelo que se extiende a través del funículo, terminando en la base de la calaza (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

## Usos del polen

El polen es uno de los elementos que el hombre utiliza para su beneficio. Existen diferentes productos económicos basados en éste, como suplementos alimenticios, medicamentos para humanos y animales, además de cosméticos. Se considera que su composición nutrimental supera a la de muchos alimentos comúnmente utilizados; es rico en proteínas, minerales y vitaminas (especialmente la B), es bajo en grasas, sodio y vitaminas solubles en grasas (D, K y E) (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

El polen se vende como suplemento alimenticio en tabletas y en forma líquida para consumo humano y animales domésticos; la adición de sus granos a la dieta de gallinas hace que produzcan huevos con las yemas de color más intenso y con altos niveles de caroteno; como recurso medicinal, es utilizado para combatir la debilidad y la falta de apetito, ingerido ya sea crudo, en preparaciones o mezclado con miel. Además, se ha visto que tiene efecto positivo en el tratamiento de problemas de fatiga, alergias, bronquitis, sinusitis, colitis, anemia y otros. El antibiótico extraído del polen tiene actividad contra la Salmonella, tipo tifoide. En la cosmetología, se utiliza para la elaboración de cremas faciales y mascarillas para eliminar las arrugas; además de que es incorporado a la pasta de dientes (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

En Taxonomía, Filogenia, Paleobotánica, Aeropalinología y alergia al polen, la morfología del polen tiene gran significado: su identificación, base de la Palinología, está apoyada en ella. Por otro lado, el análisis de polen fósil es el acercamiento más importante para la reconstrucción de la flora, vegetación y ambiente en el pasado. Su morfología es importante en el entendimiento de los aspectos funcionales del mismo como la biología de

la polinización e interacción polen-pistilo. El polen también se requiere en la diagnosis y tratamiento de alergias al mismo, pues sus granos dan respuestas alérgicas en individuos susceptibles (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

El tracto respiratorio, pulmones, bronquios, piel y tracto gastrointestinal están comúnmente involucrados en reacciones alérgicas. (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

## **Aplicaciones del conocimiento del polen**

Una de las aplicaciones importantes del estudio del polen se tiene en el campo de la exploración del petróleo: con el análisis del polen fósil, presente en muestras de rocas colectadas a varias profundidades en pozos petroleros, se pueden hacer predicciones muy útiles de zonas de gas y aceite. Su estudio también tiene aplicaciones importantes en el entendimiento de cambios climáticos del pasado, el origen y la dispersión de la agricultura y culturas prehistóricas. Por ejemplo, el análisis de entierros humanos arqueológicos y muestras de coprolitos (heces preservadas) ha proporcionado información acerca de la dieta de los antepasados; además, con el análisis del polen presente en la miel, se puede conocer la región geográfica de la producción de miel y las especies de plantas que se han utilizado, puesto que para elaborar la miel, las abejas colectan néctar y polen de las plantas encontradas en los alrededores del enjambre. El polen en la transmisión de patógenos Existen algunos reportes de que el polen interviene en la transmisión de virus en plantas, pero no hay información concluyente del polen como vector de transmisión de enfermedades bacterianas (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

## **Polinización asistida**

Los frutos y semillas son los productos económicos de la mayoría de las plantas cultivadas. Para disponer de éstos, es un prerrequisito que haya una polinización efectiva. Una polinización exitosa es básica para tener una producción óptima, sin embargo, no siempre es posible ya que la polinización puede ser insuficiente, dependiendo de varios factores, entre ellos, condiciones climáticas desfavorables y falta o insuficiencia de polinizadores. Para sostener la producción del cultivo se puede recurrir a la polinización asistida, utilizando rociadores de polen u otros métodos. Para ello se requiere de estandarización de los protocolos para la colección del polen, su almacén y la polinización. Ésta es una práctica común en plantaciones de palma de aceite en Malasia e Indonesia, particularmente en plantaciones jóvenes; ya que en la palma, aún siendo monoica, la aparición de flores masculinas y femeninas alterna con un lapso de muchos meses entre ellas. Otra planta a la que regularmente se le practica la polinización manual, es la vainilla (*Vanilla planifolia*) (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

## **Nota de interés**

Existe una gran diversidad en el uso de las flores, tanto desde una perspectiva geográfica como histórica. Son un recurso ornamental, alimenticio, medicinal, colorante, cosmético y ceremonial, por mencionar algunos. Enseguida se refieren algunos ejemplos, de formas de uso de las flores. Son muchas las especies comúnmente usadas como ornamentales por sus flores, la cantidad sobrepasa con mucho el de aquéllas que son utilizadas como

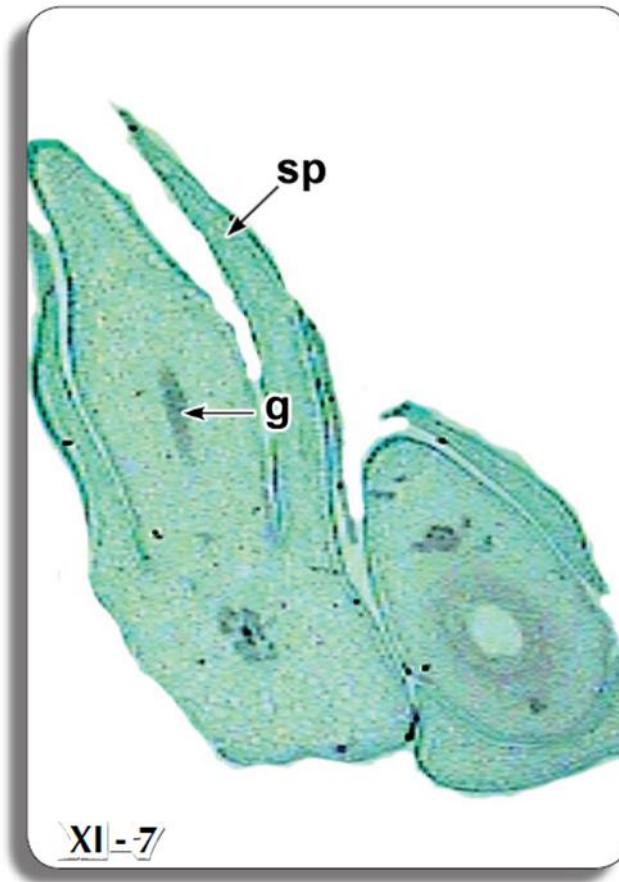
materias primas para la elaboración de alimentos. En la floricultura, la selección de nuevas plantas se hace principalmente por su valor ornamental más que por producción de la cosecha, lo cual es el factor de selección primario en los cultivos alimentarios. La vasta diversidad de cultivos de flores es una característica importante única en la industria de flores obtenidas por semilla y esto presenta grandes desafíos técnicos más que para otras industrias agrícolas. Varias flores que se cultivan a partir de semillas son comestibles y se venden en tiendas de abarrotes especializadas y en restaurantes de alto nivel, como platillos o aderezos de ensaladas; entre ellas mastuerzo (*Tropaeolum majus*), la flor de muerto (*Tagetes erecta*) y los pensamientos (*Viola tricolor*). Estas flores comestibles son producidas libres de pesticidas (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

El principal uso no ornamental de flores producidas por semilla, es para procesarlas en un aditivo para alimento de pollos, como es el caso de *Tagetes erecta*, que presenta luteína en las inflorescencias, compuesto que vuelve a la yema del huevo brillante y proporciona el color amarillo a la piel del pollo. Las inflorescencias se venden para procesarlas y extraer químicamente la luteína. Por otro lado, investigaciones realizadas han revelado que la luteína retarda la degeneración macular en humanos, por lo que manufactureras de suplementos alimentarios han comenzado a incorporar luteína extraída de esta planta a sus suplementos (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

Otras especies que tienen flores comestibles son la calabaza (*Cucurbita pepo*), el colorín (*Erythrina coralloides*), y las yucas (*Yucca spp.*). La jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) se utiliza por su cáliz y brácteas que son de sabor ácido; de la alcachofa (*Cynara scolymus*) se consume la inflorescencia inmadura; mientras que se emplean los botones de las flores del

clavo (*Syzygium aromaticum*) como condimento. Para México, dos especies que son emblemáticas por su gran tradición y prestigio en las costumbres y ceremonias de algunas poblaciones son: el Cacaloxóchitl (*Plumeria rubra*), reconocida en la jardinería mundial y utilizada desde la época prehispánica en fiestas religiosas, ofrecidas en forma de guirnaldas; y la nochebuena (*Euphorbia pulcherrima*), que desde el imperio Azteca conserva una larga tradición hortícola, ya que simbolizaba los beneficios de la cosecha y la renovación de la vida (4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

Por sus cualidades medicinales, las orquídeas (*Stanhopea hernandezii* y *Laelia speciosa*) son apreciadas desde la época prehispánica. De otras familias, el uso de las flores de manzanilla (*Matricaria recutita*), magnolia (*Magnolia grandiflora*), flor de manita (*Chiranthodendron pentadactylon*), gordolobos (*Gnaphalium* spp.) y árnica (*Hetrotchea inuloides*) aparecen como recursos herbolarios frecuentemente utilizados. Por otro lado, la orquídea (*Prosthechea karwinskii*) se utiliza en la cultura mixteca oaxaqueña para preparar el “agua de gloria” que se usa el Sábado de Gloria. En muchas flores se encuentran compuestos químicos como los terpenos, utilizados en perfumería; por ejemplo, el mirceno aislado del mirto, el geraniol aislado del geranio y Iononas aisladas de las violetas (4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).



**Figura 61. *Ficus carica*. Dicotyledoneae. Sección longitudinal de flores femeninas 50x. Segmentos del perianto (sp), gineceo (g). Fuente: (Azacarraga y et al, 2010)**

## XIII.FRUTO

En esta unidad está estructurada de la siguiente manera:

- Resumen de la unidad
- Tipos de tejidos que forman al fruto
- Origen
- Estructura
- Formas de reconocimiento de los órganos vegetales
- Notas de interés
- Actividades para el alumno

Esta Unidad de contenidos está relacionada con la Unidad XIII del programa de Anatomía de plantas Cultivadas

### Resumen

La fecundación determina ordinariamente el desarrollo de una semilla a partir del óvulo y de un fruto o pericarpo a partir de la maduración del ovario. La formación del fruto puede presentarse también sin desarrollo de semilla y sin fecundación, fenómeno que se conoce con el nombre de partenocarpia. El fruto se desarrolla normalmente a partir del gineceo, pero en muchas ocasiones entran a formar parte otros órganos como los tépalos, el receptáculo, las brácteas, el tubo floral, y otros. En correlación con la variada estructura de las flores, los frutos son también diversos en características como: sincarpia (carpelos unidos, fruto unitario), coricarpia (carpelos libres, fruto agregado), epiclamidia (flor



hipóginea, fruto libre), hipoclamidea (flor perígina o epígina, el receptáculo constituye parte del fruto); además de que hay diversos tipos de placentación y número de óvulos; asimismo, es necesario considerar que flores del mismo tipo pueden seguir ontogenias distintas que brindan una gama en tipos de frutos. En la flor, la pared del ovario consta de células parenquimáticas poco diferenciadas, tejidos vasculares y capas epidérmicas interna y externa. Durante la maduración, el pericarpo aumenta con frecuencia su número de células; su tejido fundamental puede permanecer relativamente homogéneo y parenquimático o se puede diferenciar en parénquima y esclerénquima. El pericarpo puede llegar a diferenciarse en tres partes, más o menos diferentes morfológicamente: el exocarpo o epicarpo, el mesocarpo y el endocarpo, capas externa, media e interna, respectivamente. En ocasiones sólo se distingue un exocarpo y un endocarpo, o el exocarpo y el endocarpo pueden ser simplemente las capas epidérmicas externa e interna de la pared del fruto que, por su parte, también comprende el lóbulo ovárico en el cual la semilla o semillas se desarrollan, así como un sistema vascular. Durante el desarrollo de los frutos, los tejidos vasculares aumentan más o menos en cantidad mediante la diferenciación de haces adicionales dentro del parénquima fundamental. Respecto a la pared, los frutos se pueden dividir en secos o carnosos. Los secos pueden ser dehiscentes si se abren en la madurez e indehiscentes si el fruto permanece cerrado. Paredes secas o carnosas, dehiscentes o indehiscentes se presentan en frutos derivados tanto de ovarios ínferos como súperos.

Debido a la diversidad de frutos existentes, sólo describiremos algunos de los más comunes (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41):

## Legumbre

Fruto seco dehiscente, originado de un ovario súpero sincárpico.

### ***Pisum sativum* “Chícharo” y *Phaseolus vulgaris* “Frijol”**

El exocarpo suele consistir sólo de una epidermis o puede incluir una capa subepidérmica de células alargadas de paredes finas. El mesocarpo es un parénquima o colénquima, relativamente grueso. El endocarpo esclerenquimático se compone de varias filas de células de paredes engrosadas dispuestas en ángulo respecto del eje longitudinal del fruto y está recubierto interiormente por una epidermis de células de paredes delgadas(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

La parte de células de paredes engrosadas del endocarpo puede estar diferenciada en dos capas distintas; en una de ellas, localizada junto al mesocarpo, las micelas de celulosa de la pared están orientadas según espiras de poca inclinación; en la otra, las espiras son muy inclinadas. Esta estructura del endocarpo se interpreta como un mecanismo que facilita la dehiscencia del fruto. A consecuencia de la diferente orientación de las micelas en las paredes celulares, estas dos capas experimentan sus más fuertes contracciones en planos distintos(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

Las dos líneas de dehiscencia, una que sigue la línea de unión de los bordes carpelares y la otra localizada en la región del haz mediano, pueden constar de células parenquimáticas de paredes delgadas. Los haces vasculares se sitúan en el parénquima del mesocarpo y se acompañan de tejido esclerenquimático, siendo dominantes el haz vascular dorsal y el de

la sutura ventral. La testa seminal en *Phaseolus vulgaris*, está formada por una capa de macroesclereidas y múltiples capas de parénquima.

## **Cápsula**

Fruto seco dehiscente originado de un ovario sincárpico, de dos o más carpelos.

### ***Vanilla planifolia* “Vainilla”**

Cápsula originada de un ovario ínfero tricarpelar. El exocarpo está constituido de células epidérmicas, como el de muchas cápsulas que abren por dientes o valvas con paredes externas gruesas. El tejido que conforma el mesocarpo es parenquimático. Bajo la epidermis, puede haber células alargadas y de paredes gruesas, o simplemente la epidermis puede rodear a un abundante parénquima que constituye el mesocarpo. Los haces vasculares son abundantes y se encuentran dispersos en el mesocarpo; el tejido esclerequimático que los acompaña constituye por lo común el tejido de resistencia. El endocarpo está formado por células epidérmicas que constituyen varias capas de grosor, relacionadas íntimamente con la placenta(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41)..

La dehiscencia de la cápsula se produce por engrosamientos anisotrópicos de las paredes celulares; las células que llevan a cabo la apertura son de paredes gruesas, y son ellas las que determinan la dirección en que se doblan las valvas o los dientes(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41)..

## **Baya**

Fruto carnoso que suele ser un pericarpo grueso y jugoso, en el que se pueden distinguir tres estratos: El externo o epicarpo, que es el que suele contener los pigmentos; el medio o mesocarpo, relativamente grueso y parenquimático; y uno membranoso interno o endocarpo (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

Este pericarpo carnoso puede encerrar una o varias semillas, como en el caso del chile (*Capsicum* spp.), la guayaba (*Psidium guajava*), el fruto de cítricos como el limón (*Citrus aurantifolia*), que recibe el nombre especial de hesperidio, así como el del café (*Coffea arabica*), que es una baya que se constituye de una flor de ovario ínfero en el que poco colaboran las partes extracarpelares de la flor (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

### ***Capsicum annuum* “Chile”**

Fruto simple, se origina de un gineceo súpero sincárpico con placentación axilar. El fruto maduro consiste de tres capas: la externa, formada por una epidermis de células rectangulares cubiertas con gruesa cutícula sobresaliendo en su porción externa, ésta presenta un colénquima subepidérmico constituido de tres a cinco capas celulares; el tejido medio, una gruesa capa de parénquima con células de paredes delgadas y reserva de sustancias ergásticas, entre las células de parénquima se encuentran numerosos y dispersos haces vasculares; y el endocarpo, formado por células epidérmicas que constituyen una o dos capas de grosor: la placenta, que sostiene las semillas y que se

forma a partir de la proliferación del tejido fundamental, así como por la dermis interna, por lo que no se observa separación entre el endocarpo y placenta(4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

### ***Psidium guajava* “Guayaba”**

Fruto simple, se origina de un gineceo ínfero sincárpico con placentación axilar y participación del receptáculo. El fruto maduro consiste de tres capas: una externa, con una epidermis de células que van de formas rectangulares a alargadas, cubiertas con una ligera cutícula; seguida de cinco a ocho capas de células de colénquima con reserva de sustancias ergásticas, que se vierten en cavidades o canales multicelulares especializados en la secreción y presentes entre las células de colénquima –dicha estructura está conformada principalmente por el receptáculo–; continúa una gruesa capa de parénquima con paredes delgadas y reserva de sustancias ergásticas, y espacios intercelulares; entre las células de parénquima, se encuentran cúmulos de braquiesclereidas, además de numerosos y dispersos haces vasculares; finalmente se encuentra el endocarpo, constituido de células de parénquima que se continúan con el tejido que forma la placenta en torno a las semillas (4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

### ***Coffea arabica* “Café”**

Fruto simple constituido a partir de una flor de ovario ínfero sincárpico con placentación axilar; el receptáculo tiene poca participación en la formación del fruto que, en su madurez, presenta tres estratos: una capa externa formada por epidermis de una o dos series de células pequeñas isodiamétricas con cutícula delgada, continuada por varias capas de células de colénquima que se sustituyen paulatinamente por células de parénquima

esponjoso de células laxas en comparación a las anteriores; tanto las células de colénquima como las de parénquima almacenan sustancias ergásticas, mientras que los haces vasculares se encuentran dispersos en el parénquima; finalmente, el endocarpo o “pergamino”, constituido por un grupo de macroesclereidas que envuelven a dos semillas unidas por su parte ventral achatada (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

## **Citrus aurantiifolia “Limón”**

Fruto simple, se origina de un gineceo supero sincárpico con placentación axilar, este fruto también es considerado como un hesperidio. En el fruto maduro se pueden diferenciar tres estratos: el epicarpo que consta de una epidermis simple, de células pequeñas y de paredes gruesas con una delgada cutícula; la epidermis que, vista superficialmente, presenta discontinuidades; bajo la epidermis continúan pequeñas y densas células colenquimáticas, tejido que presenta cavidades o canales multicelulares donde se vierten aceites esenciales presentes en todo el fruto; el mesocarpo consta de células incoloras y laxas con altas concentraciones de aceite, este tejido de naturaleza esponjosa presenta gran cantidad de espacios intercelulares, los numerosos haces vasculares se encuentran dispersos en el parénquima; mientras que el endocarpo es compacto y da origen a sacos jugosos que llenan los lóbulos en la madurez entre los que se encuentran las semillas (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

## **Drupa**

Fruto carnoso con endocarpo fibroso o leñoso, originado de un ovario súpero unilocular uniovular (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

### ***Prunus persica* “Durazno”**

El fruto presenta tres partes: un exocarpo delgado o piel, un mesocarpo grueso y carnoso, y un endocarpo duro (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

El exocarpo comprende la epidermis y varias capas de colénquima situadas bajo de ella, la epidermis presenta cutícula y numerosos tricomas unicelulares.

El mesocarpo carnoso consta de células parenquimáticas laxas que aumentan de tamaño desde la periferia hacia el interior; en la misma dirección, las células cambian de forma: desde la ovoide con el eje mayor paralelo a la superficie del fruto, a la cilíndrica con el diámetro más largo en dirección radial; las células más pequeñas cercanas a la periferia contienen la mayor parte de los cloroplastos en el fruto inmaduro. El endocarpo se compone de esclereidas muy apretadas y forma el hueso: la superficie externa del hueso está perforada y provista de puntuaciones, mientras que dentro de los canales del endocarpo, se encuentran haces vasculares; desde este sistema divergen ramificaciones de los haces hacia el mesocarpo (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

### **Pomo**

Fruto carnoso compuesto, se origina a partir de un ovario ínfero sincárpico, con la participación del hipanto (4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

### ***Pyrus communis* “Pera” y *Cydonia oblonga* “Membrillo”**

La epidermis del hipanto se viste de una cutícula que se espesa a medida que el fruto madura; en los estados tempranos del desarrollo pueden verse todavía estomas pero dejan de funcionar y se sustituyen por lenticelas. El tejido subepidérmico originado de la porción externa del hipanto, está formado por varias capas de células colenquimáticas de paredes gruesas y de un parénquima interno que contiene los haces vasculares: cinco corresponden a los sépalos y cinco a los pétalos. Sólo un poco antes de la maduración, en este tejido se producen espacios intercelulares, los cuales están mejor desarrollados en el parénquima fundamental más interno: en las capas profundas las células son más o menos ovales. La parte del fruto que se origina del ovario está compuesta de cinco carpelos plegados, pero no soldados, se presentan cinco haces dorsales y diez ventrales. Es difícil distinguir entre ovario e hipanto, pero se considera que la pared del ovario evoluciona en un exocarpo parenquimatoso y en un endocarpo cartilaginoso que recubre los lóbulos. El endocarpo está formado de esclereidas alargadas con gruesas paredes y con el lumen celular casi obstruido. En los frutos de *Pyrus communis* y de *Cydonia oblonga*, se desarrollan grupos de braquiesclereidas en el parénquima, y en la pera, las células succulentas que contienen el azúcar se disponen en torno a las células pétreas en posición radial (4, 5, 6,15, 16, 38 y 41).

### **Sicono**



Eje dilatado de la inflorescencia, fruto complejo por estar constituido por otros órganos además del gineceo (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

### ***Ficus carica* “Higo”**

Fruto múltiple, se origina de una inflorescencia constituida de un receptáculo cerrado, con una apertura o poro apical. Las flores femeninas se presentan en su pared interna y las flores masculinas, circundando la parte interior del poro. Posterior a la fecundación, su pared interna se recubre de múltiples drupas y el receptáculo aumenta su tejido parenquimático formando una estructura carnosa (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

El receptáculo maduro, está constituido de una epidermis externa de células cúbicas con una delgada cutícula; las células epidérmicas presentan tricomas unicelulares. Continúan numerosas capas de colénquima que se sustituyen paulatinamente por densas células de parénquima; tejido en el que se distribuyen los haces vasculares de tipo colateral que, con interrupciones, circundan el receptáculo. El parénquima, que continúa hacia el interior, se hace menos denso presentando abundantes espacios intercelulares en su porción media. El receptáculo está limitado en su porción interna por una capa uniestratificada de células epidérmicas con tricomas unicelulares, estructura íntimamente relacionada con numerosas drupas, que constituyen los frutos verdaderos (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

### **Nota de interés**

En la antigüedad, los frutos eran considerados el manjar de los dioses, por lo que con frecuencia aparecen referidos en templos, palacios u otros lugares asociados a ceremonias o rituales en donde, además de ser utilizados como alimento, servían como parte de la decoración y, gracias a sus aromas, brindaban un ambiente agradable. Actualmente, es conocido que los frutos constituyen parte importante de la alimentación, y que, junto con las hortalizas, proporcionan vitaminas y minerales necesarias para el desarrollo y buen funcionamiento del cuerpo humano. El consumo regular de cítricos (*Citrus spp.*), nos abastece de vitamina C, potente antioxidante, además de que ayuda a sanar heridas, previene el escorbuto y refuerza la acción de la vitamina E (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

Los cítricos pueden ser utilizados de forma integral, ya que a partir de su exocarpo se extraen aceites esenciales utilizados en perfumería o en la obtención de productos de limpieza y/o aseo personal. Si se desea utilizar en la alimentación, el exocarpo se confita y se utiliza en la repostería; mientras que del mesocarpo, o porción interna de la piel, se extrae pectina utilizada en la elaboración de diversos medicamentos relacionados a problemas gastrointestinales. Particularmente, los flavonoides de la toronja (*Citrus paradisi*), previenen de afecciones del corazón, sobre todo por consumo de drogas (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

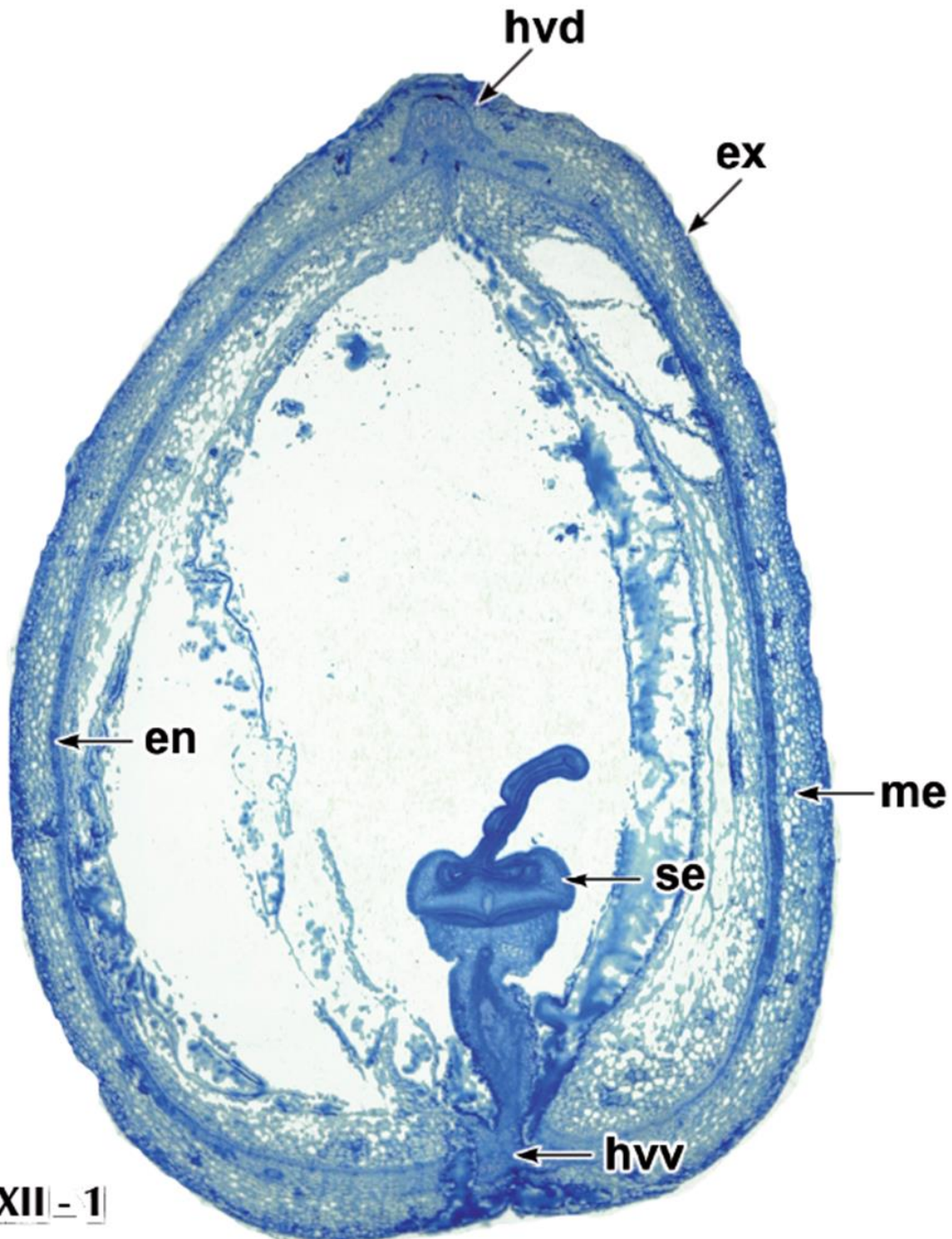
Por otro lado, los frutos son fuente importante de fibra necesaria para una buena digestión, ya que coadyuvan a la expulsión de materia indeseable para el organismo y disminuyen la probabilidad de constipación. Una dieta rica en fibra reduce el colesterol, favorece la circulación y previene la aparición de cáncer de colon. Manzana (*Malus*

*sylvestris*), cítricos (*Citrus* spp.), arándanos (*Vaccinium* spp.) y uvas (*Vitis vinifera*), son frutos ricos en fibra (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

El consumo de frutos ayuda a mantener el pH del organismo neutralizando el exceso de acidez favorece la eliminación de líquidos y exceso de residuos nitrogenados y clorados. Además, por su alto contenido en agua hidratan el cuerpo al tiempo que aportan energía a base de azúcares simples (fructuosa, sacarosa y glucosa), muy asimilables por nuestro organismo. Frutos como el pepino (*Cucumis sativus*), el melón (*Cucumis melo*) y la sandía (*Citrullus lanatus*) son rica fuente de agua dulce; tan solo el consumo del pepino acompañado por dientes de ajo (*Allium sativum*), ha ayudado a cruzar el desierto a múltiples personas ya que disminuye los efectos causados por la insolación (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

Su extraordinaria fitoquímica convierte a los frutos en fuente de salud; así, el consumo de uvas gracias al resveratrol contenido en sus tejidos, disminuye el colesterol, mejora la circulación, y disminuye la probabilidad de problemas del corazón; por su lado, la piña (*Ananas comosus*), contiene bromelina que estimula la elasticidad de arterias, previniendo arterioesclerosis. Resulta difícil mencionar todos los beneficios que brinda el consumo de frutos, pero es importante, al menos, considerar que disminuyen la obesidad, constipación, hipertensión, probabilidad de ataques al corazón y cáncer (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).





XII - 1

Figura 62. Pericarpo; formado por exocarpo (ex), mesocarpo (me), endocarpo (en). Haces vasculares: ventral (hvv) y dorsal (hvd); semilla (se). Fuente: (Azacarraga y et al, 2010)

## **XIV.SEMILLA**

En esta unidad está estructurada de la siguiente manera:

- Resumen de la unidad
- Tipos de tejidos que forman al fruto
- Origen
- Estructura
- Formas de reconocimiento de los órganos vegetales
- Notas de interés
- Actividades para el alumno

Esta Unidad de mersitemos esta relacionda con la Unidad XIV del programa de Anatomia de plantas Cultivadas

### **Resumen**

La semilla es usualmente el óvulo fecundado y maduro; en la semilla madura se distinguen las siguientes partes: la testa, que es la cubierta de la semilla y se forma de tegumentos; el endospermo, que puede ser muy abundante, escaso o llegar a faltar, en este caso a las semillas se les llama exalbuminosas, ejemplo de ellas es la del cacahuate; y el embrión, que es el esporofito parcialmente desarrollado, y que está conformado por uno o por dos cotiledones: la radícula y la plúmula; finalmente, tenemos semillas de plantas como Beta, cuyo tejido nucelar persiste y aumenta de volumen para formar el perispermo. En la cara

externa de la semilla se distinguen algunas estructuras como el micrópilo que persiste como poro o puede estar obliterado. En el lugar donde el óvulo se ligaba a su funículo, filamento que lo une a la placenta, forma una cicatriz llamada hilio, por donde el agua puede penetrar fácilmente. En los óvulos anátropos, donde parte del funículo estaba fusionado con los tegumentos, la semilla conserva parte del funículo pegada y forman una costilla característica llamada rafe. Después de la fecundación del rudimento seminal u óvulo, puede producirse una excrescencia en algunas semillas, a la que se le llama arilo; si la excrescencia se forma en el funículo se le llama estrofiolo, y carúncula si crece sobre el micrópilo. Los arilos se presentan en algunas especies tropicales y se consideran adaptaciones para la dispersión por animales, las carúnculas contienen aceites y se cree que tienen relación a la dispersión por hormigas. Las angiospermas tienen uno o dos tegumentos seminales que pueden intervenir en la formación de la testa; sin embargo, en la mayoría de las semillas, gran parte de los tegumentos son reabsorbidos por los otros tejidos seminales y la testa se forma del tejido restante. Las semillas de los frutos indehiscentes sólo presentan dos o tres capas externas de los tegumentos; no obstante, en algunas compuestas como *Lactuca sativa* (lechuga), el tegumento representa una capa de células obliteradas que persiste bajo la cubierta cipselar; en tanto que en algunas gramíneas como *Zea mays* (maíz), los tegumentos se destruyen del todo, y en la mayoría de las leguminosas, el tegumento interno y la nucela se obliteran completamente; en la mayoría de las semillas, sólo las capas más externas y la epidermis del (los) tegumento (s) persisten.

## **Histología de la testa**

Hay gran diferencia en la estructura de la testa de las diferentes semillas, el tipo más simple está representado por las orquidáceas, que consiste de una sola capa de células que se originan del tegumento externo; entre esta testa membranosa y el embrión indiferenciado hay una capa de aire que facilita la dispersión por medio del viento (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

En algunas semillas, como las de varios géneros de leguminosas, la testa está recubierta por una cutícula muy gruesa que impide el paso del aire y del agua; puede presentarse bajo ésta una capa de células radialmente alargadas, dispuesta a modo de empalizada y sin espacios intercelulares, llamadas células malpighianas, a las que por su forma también se les denomina macroesclereidas. Estas células son especialmente características de las leguminosas, en donde forman la epidermis externa. En muchas leguminosas, bajo las células malpighianas, hay una o más capas de células en forma de embudo o de hueso llamadas osteosclereidas; también en las leguminosas hay una protuberancia circular llamada lente o estrofiolo, en donde las células de Malpighi son más largas, y tanto las osteosclereidas como el parénquima subyacente están ausentes. Por otro lado, es importante mencionar también que la testa de algunas semillas es jugosa, como en el caso de las de *Punica granatum* (granada) (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

La superficie de las semillas puede presentar estructuras que se desarrollan a partir de la testa o pericarpio: tricomas, costillas, pliegues, espinas o gloquidios; las cuales sirven para la dispersión y clasificación de las especies. La testa, en ocasiones se expande formando estructuras aliformes que contribuyen a la dispersión por viento, estas alas pueden estar formadas de células tubulares con engrosamientos anulares, helicoidales o punteados. Las



semillas de asclepiadáceas llevan penachitos de pelos para facilitar su dispersión por el viento. En algunas de estas semillas, los pelos sufren movimientos higroscópicos: se separan con el tiempo seco y se juntan con el tiempo húmedo; este movimiento es realizado gracias a una estructura basal de cada pelo (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

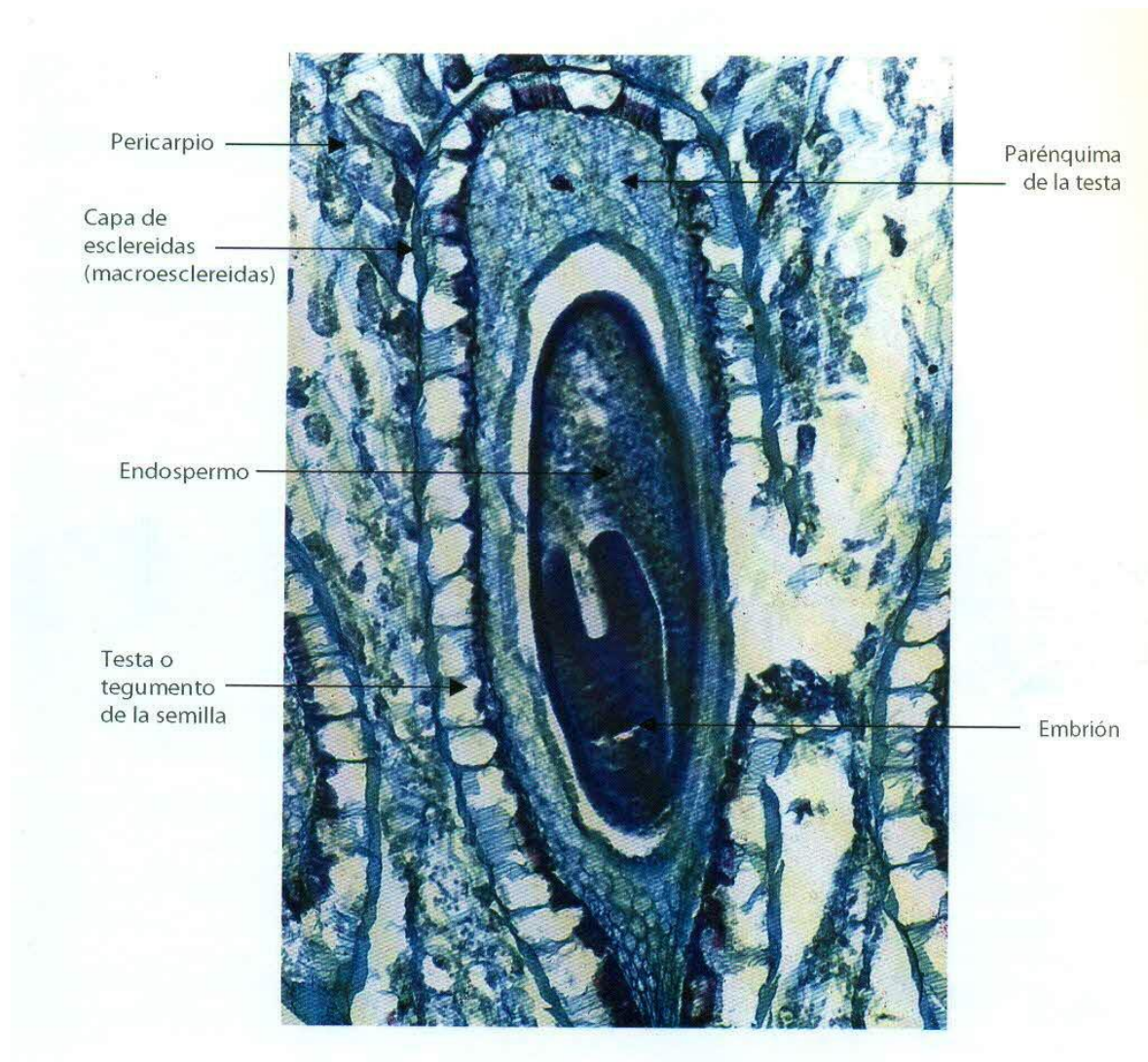
El mucílago es común en muchas semillas, núculas y frutos monospermos; se presenta en crucíferas, labiadas, compuestas, plantagináceas y otras familias. Puede funcionar para favorecer la dispersión o impedir el transporte de la diáspora a lugares menos favorables, puede regular la germinación impidiendo la desecación, o impedir la germinación cortando el paso del oxígeno en caso de exceso de humedad. El mucílago es una matriz péptica de paredes celulares que se hincha mucho al humedecerse, su capacidad de hinchamiento tan considerable indica que estas paredes se componen de muchísimas capas uniestratificadas de ácido galacturónico que posee notable capacidad para hidratarse (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

En las células epidérmicas mucilaginosas, el mucílago se almacena en la vacuola, entre la membrana plasmática y la pared celular, y los espacios extraprotoplasmáticos; de manera que el protoplasma degenera y la célula se convierte casi completamente en un saco de mucílago.

## **El endospermo**

El tejido endospermico (**Figura 63**) de una semilla en desarrollo puede consistir de células de paredes finas con grandes vacuolas que no contienen sustancias de reserva. Este endospermo ha sido total o parcialmente absorbido por el embrión que crece, como en la

semilla de *Lactuca sativa* (lechuga). En muchas otras semillas, como las de gramíneas, el endospermo funciona como tejido de reserva; las reservas pueden almacenarse dentro de las células o en las paredes mismas, siendo en este caso, paredes gruesas. Dentro de las células, las reservas pueden ser granos de almidón, o proteína que se almacena de dos formas: como gránulos amorfos o gluten y como gránulos de aleurona. En los endospermos, donde no hay almidón, las reservas pueden ser aceites y otras grasas; o la pared celular constituye el material de reserva y está formada por hemicelulosas y otros carbohidratos como en *Phoenix* spp. y *Diospyros* spp (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).



**Figura 63. Semilla de *Solanum***

## Plántulas

Cuando la semilla germina, la testa se rompe cerca del micrópilo y la radícula emerge. En muchas semillas, los cotiledones y el ápice caulinar emergen cuando, por crecimiento intercalar, el hipocótilo se alarga; ejemplos de este tipo de semillas son *Phaseolus vulgaris*, *Lactuca sativa*, *Beta vulgaris*, *Ricinus communis* y las cactáceas. En muchas otras plantas como *Quercus* spp., el hipocótilo no se alarga o apenas lo hace; este tipo de germinación se llama hipogea. Las principales funciones de los cotiledones son de almacenamiento y fotosintética, además de la liberación, absorción y transporte de sustancias nutritivas del endospermo al embrión, como ocurre en las gramíneas. Durante la germinación de las semillas, generalmente la punta de la raíz sale directamente hacia arriba debido a la configuración de las semillas, y sólo algo más tarde, se hace geotrópicamente positiva; el cambio de crecimiento produce una geniculación de la raíz. Hay una parte del cotiledón que permanece dentro de la testa donde está en contacto con el endospermo y funciona como haustorio absorbiendo nutrientes; y una parte expuesta que se torna verde y puede realizar fotosíntesis. Al final del proceso de germinación, los restos de la testa se desprenden y el extremo del cotiledón se levanta (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

## Nota de interés

El alimento almacenado en las semillas para su crecimiento inicial también es alimento para el hombre y los animales; de manera que, en general, la mayor parte del alimento en el mundo, consiste de semillas. Del trigo, por ejemplo, se obtiene pan en todo el mundo; el arroz es el alimento básico en el sur de Asia y ampliamente cultivado como alimento en

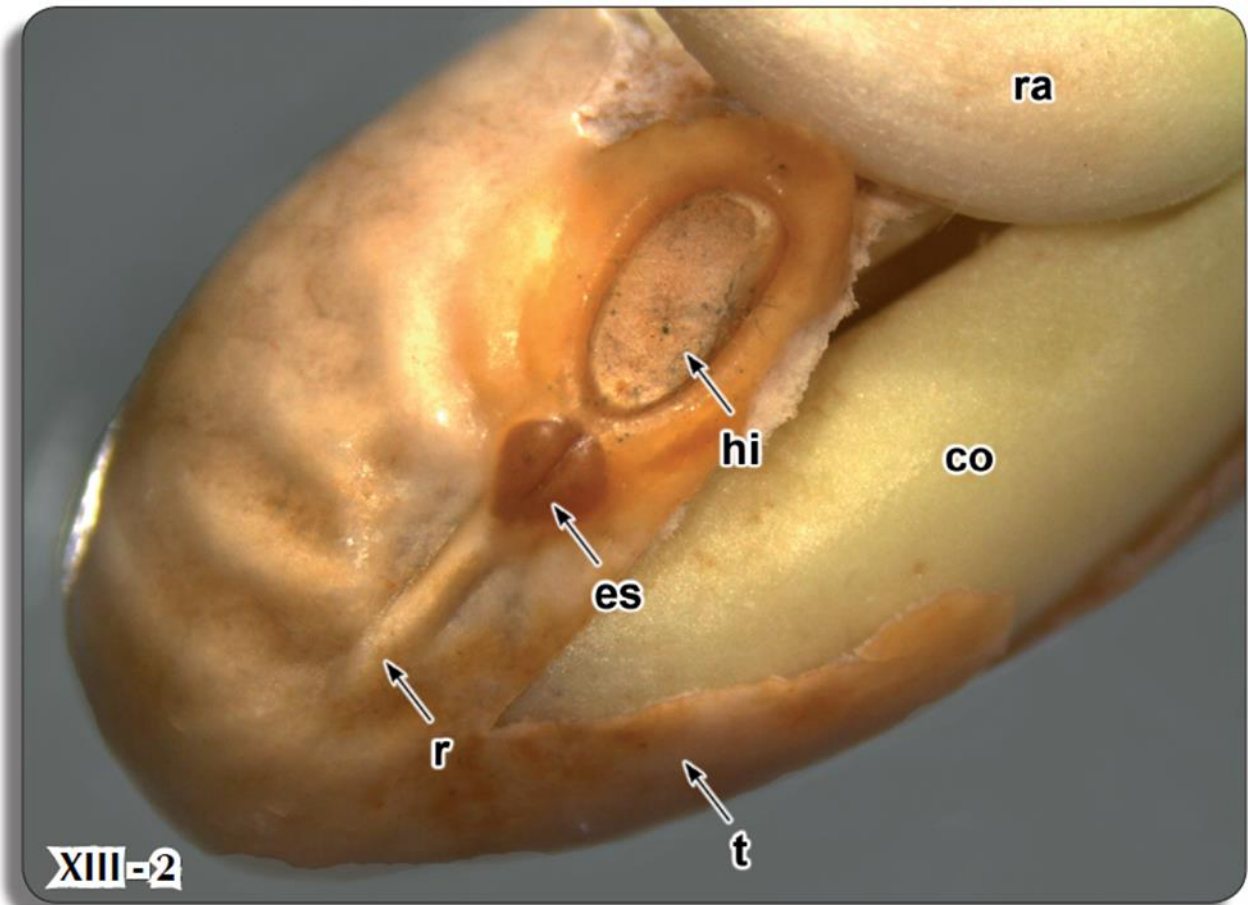
las regiones tropicales terrestres; del maíz se obtiene una gama amplia de alimentos y combustible; mientras que la cebada, el centeno y la avena coadyuvan en el abasto de alimento del hombre y sus animales. En total, un noventa por ciento de todas las semillas que se cultivan en el mundo son cereales (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

Por otro lado, el segundo grupo de semillas en importancia que usamos como alimento son las de las leguminosas; los diversos tipos de frijol, chícharo y lentejas nos proporcionan proteínas y carbohidratos; leguminosas como la soya y el cacahuate contienen un alto porcentaje de aceites y proteínas. Sin embargo, de las leguminosas, el frijol de soya es la más importante usada como alimento, y le siguen los cacahuates que se emplean para producir aceites, mantequillas, o bien, se comen tostados como nueces. Los granos de los cereales suplementados con leguminosas forman la dieta de las dos terceras a las tres cuartas partes de regiones de Asia, África, y la mayor parte de América Latina; en Europa, Norteamérica, Australia, Nueva Zelanda y Argentina, las semillas proporcionan alrededor de la tercera parte del consumo alimenticio. Las principales semillas que se siembran con fines industriales son aquellas que contienen aceite como lino, ricino, tung y otros. Los aceites y grasas líquidas han sido los constituyentes principales de las pinturas y barnices empleadas para proteger y embellecer superficies de madera y estructuras metálicas; estos aceites forman una película dura y lisa cuando se secan. También las semillas de frijol de soya, algodón, maíz, sésamo y nabo producen aceites semisecantes con diversos usos industriales. El aceite de ricino que se obtiene de las semillas de esta planta, tiene mucha demanda como lubricante fino; el aceite de almendras se emplea en medicina y cosméticos; las grasas líquidas de las semillas de las oleaginosas se emplean en la manufactura de jabones para la industria, el hogar, en la obtención de glicerina y en la

fabricación de explosivos; mientras que el aceite de frijol de soya y otros aceites de semillas usados para fines alimenticios, se emplean para hacer jabones, detergentes y resinas para pinturas (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

Asimismo, las semillas son la principal fuente de almidón para la industria del papel y textil, en la fabricación de alimentos, además de una multitud de operaciones manufactureras: el maíz y el trigo son los productores de la mayor parte del almidón en las regiones donde los cereales representan las cosechas principales (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).

De las semillas de algarrobo, lino y otras, se extraen las gomas solubles en agua que se emplean en la elaboración de alimentos, helados, salsas, farmacéuticos, manufacturas de pastas, papel, espesantes, estabilizadores o agentes dispersantes. Las semillas de los frutos denominados “nueces” contienen alimentos altamente concentrados, aceites y otros materiales de gran valor; consisten de una almendra con abundante alimento almacenado y una envoltura gruesa. Algunas almendras son oleosas otras amiláceas, pero todas son ricas en proteínas. Además de esto, su color y forma las han hecho atractivas como ornamento y decoración en la elaboración de collares, rosarios y guirnaldas. Se han atribuido a las semillas propiedades medicinales a causa de sus alcaloides y compuestos aromáticos. Las preparaciones de nuez vómica, toloache, calabaza, aguacate, mamey son algunos de los muchos remedios. Otros grupos de semillas proveen de olores y sabores característicos de los alimentos; incluyendo varios parientes de la zanahoria como el comino, hinojo y anís. Todo esto, sin olvidar las bebidas estimulantes elaboradas con semillas como café y chocolate, tan conocidas en todo el mundo (4, 5, 6, 15, 16, 38 y 41).



**Figura 64.** *Phaseolus vulgaris*. Dicotyledoneae. Parte ventral de la semilla germinada 8x. Estrofiolo (es), hilio (hi), rafé (r), testa (t), radícula (ra), cotiledón (co). Fuente: (Azacarraga y *et al*, 2010)

## IX LITERATURA CITADA

1. Aguilar C., A. *et al.* (1994) *Herbario Medicinal del Instituto Mexicano del Seguro Social*. IMSS. México.
2. Aguilar, M. *et al.* (1996) *Manual general de técnicas histológicas y citogenéticas*. Facultad de Ciencias, UNAM. México.
3. Azcárraga, M. R. y P. Jácquez (2005) *Manual de prácticas de anatomía y organografía vegetal*. FES-Cuautitlán, UNAM. México.
4. Azcarraga, R. M., Jacques-Ríos, M.A., Bonfil-Campos, A. y Sandoval-Zapotitla, E. (2010). *Atlas de Anatomía Vegetal*. Universidad Nacional Autónoma de México. 279p
5. Azcón-Bieto, J. y M. Talón (coord.) (2000). *Fundamentos de fisiología vegetal*. McGraw-Hill. México.
6. Bhaskar, V. (2003) *Root hairs. The "gills" of roots. Development, structure and functions*. Science Publishers. USA.
7. Boutherin, D. y G. Bron (1994) *Multiplicación de plantas hortícolas*. Acribia. España.
8. Bracergirdle, B. y P. H. Miles (1971) *An atlas of plant structure*. Vol. I. Educational Books. England.
9. Bracergirdle, B. y P. H. Miles (1973) *An atlas of plant structure*. Vol. II. Educational Books. England.
10. Camacho P., J. R. (2005) *Plantas comestibles silvestres, especies de mayor uso*. IMSS. México.
11. Cortés B., F. (1986) *Cuadernos de histología vegetal*. Marban. España.
12. Dickison, W. C. (2000) *Integrative plant anatomy*. Academic press. USA.
13. Esau, K. (1997) *Anatomy of seed plants*. 2ª ed. John Wiley & Sons. New York.
14. Evert, R. F. (2006) *Esau's plant anatomy. Meristems, cells and tissues of the plant body: their structure, function, and development*. 3ª ed. Wiley-Interscience. USA.
15. Fahn, A. (1978) *Anatomía vegetal*. Blume Ediciones. España.
16. Flores-Vindas, E. (1999) *La planta: estructura y función*. Vol. I y II. Libro Universitario Regional (LUR). Costa Rica.
17. García E., L. *et al.* (2003) *La madera y su anatomía*. Fundación Conde del Valle de Salazar-Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
18. Gifford, E. y A. S. Foster (1989) *Morphology and evolution of vascular plants*. W. H. Freeman and Company. New York.
19. Grajales M., O. (2004) *Fisiología vegetal*. FES-Cuautitlán, UNAM. México.
20. Hágsater, E. *et al.* (2005) *Las orquídeas de México*. Instituto Chinoín. México.
21. Hernández, G. *et al.* (1995) *La pared celular*. Universidad Autónoma de Chapingo. México.



22. Jean-Pierre, A. (2005) *Vascular organization of Angiosperms. A new vision*. Science Publishers, USA.
23. Krommenhoek, W. *et al.* (1986) *Atlas de histología Vegetal*. Marban. España.
24. López T., M. (1995) *Resistencia de las plantas*. Trillas. México.
25. Maiti, M. R. (1995) *Fibras vegetales en el mundo*. Trillas. México.
26. Martínez, A. *et al.* (1995) *Plantas útiles de la Sierra Norte de Puebla*. Cuadernos 27. Instituto de Biología, UNAM. México.
27. McDonald, M. B. y F. Y. Kwong (2005) *Flower seeds. Biology and technology*. CABI Publishing. USA.
28. Moore, R. *et al.* (1995) *Botany*. W C. Brown Publishers. USA.
29. Ricker, M. y D. C. Daly (1998) *Botánica económica en bosques tropicales. Principios y métodos para su estudio y aprovechamiento*. Diana. México.
30. Pérez O., C. y J. Ceja R. (2006) *Atlas de anatomía vegetal*. AGT Editor. México.
31. Raven, P.H. *et al.* (1992) *Biología de las plantas*. Reverté. Barcelona.
32. Razdan, M. K. (2003) *Introduction to plant tissue culture*. Science Publishers. 2ª ed. USA.
33. Rost, T. L. *et al.* (2006) *Plant Biology*. 2ª ed. International Student Edition. México.
34. Rudall, P. (1992) *Anatomy of flowering plants. An introduction to structure and development*. 2ª ed. Cambridge University Press. New York.
36. Sandoval Z., E. (2005) *Técnicas aplicadas al estudio de la anatomía vegetal*. Cuadernos 38. Instituto de Biología, UNAM. México.
37. Santamarina, S. *et al.* (1997) *Biología y Botánica*. T. I. Universidad Politécnica de Valencia. España.
38. Senti, F. R. y W. Dayton Maclay. (1962) *Viejos usos de las semillas y algunos nuevos en: Semillas*. Anuario de agricultura. USDA. Editorial CECSA. México.
39. Shivanna, K. R. (2003) *Pollen biology and biotechnology*. Science Publishers. USA.
40. Simson, B. B. y M. C. Ogorzaly (2001) *Economic botany. Plants in our world*. McGraw-Hill. 3ª ed. USA.
41. Valla, J. (1997) *Botánica. Morfología de las plantas superiores*. Editorial Hemisferio Sur. Argentina.
42. Zamski, E. y A. A. Schaffer (ed) (1996) *Photoassimilate distribution in plants and crops. source-sink relationships*. MarcelDekker. NY.

## X. GLOSARIO

**Anastomosis:** Acción de confluir. Dícese de dos elementos que se unen o juntan, ya.

**Anticlinal:** Orientación de la división de la pared celular o del plano de una célula, perpendicular a la superficie más próxima.

**Axial:** Relativo al eje, situado en él.

**Cámbium:** Zona generatriz, integrada por células meristemáticas, situada entre el leño y el líber, la cual, por repetidas divisiones tangenciales de sus células, produce, leño hacia la parte interna y líber hacia el exterior. Poseen cámbium en general, las gimnospermas y las dicotiledóneas, y a su actuación se debe principalmente el crecimiento de los tallos y raíces en espesor.

circunferencia de la superficie más próxima.

**Córtex:** Región de tejido fundamental de un tallo o de una raíz que se halla circunscripto externamente por la epidermis e internamente por el sistema vascular; región de tejido primario.

**Córtex:** región de tejido fundamental de un tallo o de una raíz que se halla circunscripto externamente por la epidermis e internamente por el sistema vascular; región de tejido primario.

**Crecimiento intrusivo:** crecimiento de las células por intrusión (acción de introducirse) entre las de paredes secundarias con o sin una posterior lignificación.

Directamente o por medio de un tercero.

**Duramen:** Madera oscura, formada por células muertas, que ya no cumplen funciones de transporte.

**Esclerosis:** Acto de cambiar una célula transformándose en célula del esclerénquima, desarrollo

**Felógeno:** Cámbium suberógeno, meristema lateral que da lugar a la peridermis, produciendo súber (felema) hacia el exterior y felodermis hacia el interior de la planta; común en tallos y raíces de gimnospermas y dicotiledóneas.

**Felógeno:** o cámbium suberógeno, meristema lateral que da lugar a la peridermis, produciendo súber (felema) hacia el exterior y felodermis hacia el interior de la planta; común en tallos y raíces de gimnospermas y dicotiledóneas.hasta la madurez.

**Haz vascular:** Cordón de tejido que contiene xilema primario y floema primario (y procámbium si todavía existe), frecuentemente rodeado por una vaina de parénquima o fibras.

**Idioblasto:** Célula que en un tejido cualquiera se distingue del resto por su tamaño, estructura y contenido.

**Idioblasto:** Célula que se distingue en un tejido cualquiera, por su forma, o por su tamaño o por su función.

**Inulina:** polímero de la d(-)-fructosa, que desempeña en algunos vegetales un papel análogo al del almidón, se aísla entre otras fuentes del tubérculo de dalia.

**Isodiamétrico:** forma regular, con todos los diámetros de igual longitud.

**Médula:** tejido fundamental en el centro del tallo o raíz delimitado externamente por el tejido vascular.

**Mucílago:** carbohidrato que tiene la propiedad de hincharse con el agua, proceden de las degradaciones de la celulosa, calosa, lignina y sustancias pécticas.

**Nástico:** propio de las nastias, recibe el nombre de nastia toda encorbadura (y, en consecuencia todo movimiento debido a ellas) provocada por un estímulo externo de carácter difuso.

**Ontogenia:** Desarrollo del ser, tanto vegetal como animal, a partir de la ovocélula y hasta su formación definitiva.

**Ontogenia:** Estudio del desarrollo del ser, o de un órgano o de una estructura desde su origen  
paredes de otras células.

**Parénquima:** Tejido preponderante en la mayoría de los órganos vegetales, compuesto por células isodiamétricas, con paredes primarias, con protoplasto parietal y el centro ocupado por uno o varios vacuolos.

**Periclinal:** Dícese de las membranas celulares de un miembro u órgano vegetal que son paralelas a la superficie del mismo.

**Periclinal:** Orientación de la división de la pared celular o del plano de una célula, paralela a la

**Peridermis:** Tejido de protección externo que reemplaza a la epidermis cuando es destruida durante el crecimiento secundario.

**Procambium:** Sinónimo de *desmogeno*, término que se prefiere por no prestarse a equívocos. Tejido meristemático que da origen al sistema vascular primario.

**Radial:** Perteneciente o relativo al radio. Dícese de paredes celulares o filas de células que se encuentran dispuestas en un plano que pasa por el eje de un órgano, cortando perpendicularmente la superficie del mismo (equivalente a *anticlinal*).

**Romo:** Obtuso, sin punta.

**Septado:** Provisto de septos; tabicado.

**Súber:** Tejido protector compuesto por células muertas con paredes suberizadas, originado por el felógeno, reemplaza a la epidermis en tallos y raíces con crecimiento secundario.

**Traqueidas:** Vasos xilemáticos que, al contrario de las traqueas, no son perforados.

**Turgencia:** acción y efecto de hincharse, una célula está turgente cuando a causa de la presión interna de la misma tiene tensa la membrana.



**Dr. Jorge Olvera García**

Rector

**Dr. Alfredo Barrera Baca**

Secretario de Docencia

**M. en D. José Benjamín Bernal Suárez**

Secretario de Rectoría

**Dr. Manuel Hernández Luna**

Secretario de Planeación y Desarrollo Institucional

**M. en E. Javier González Martínez**

Secretario de Administración

**Dr. Hiram Raúl Piña Libien**

Abogado General