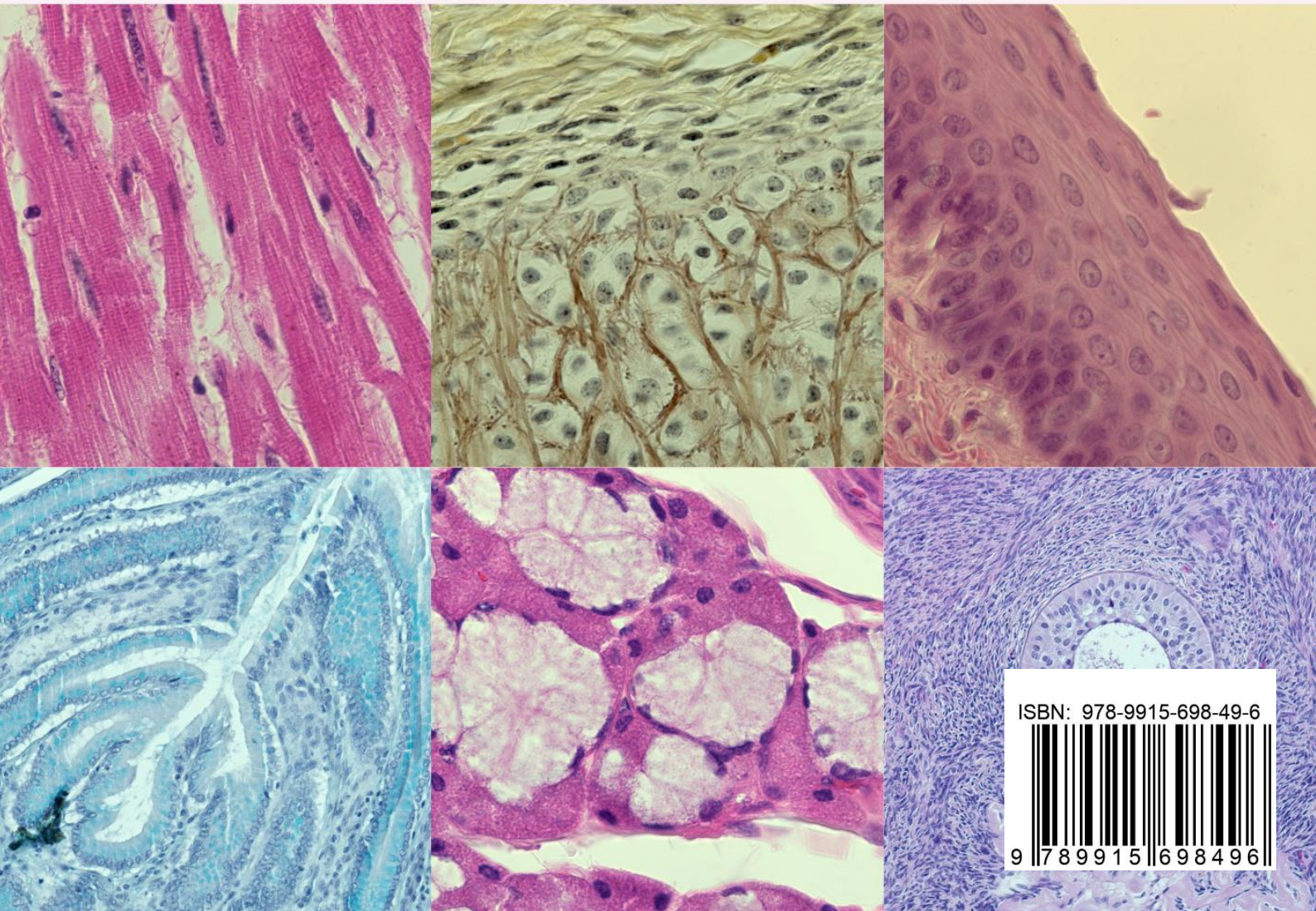


HISTOLOGÍA VETERINARIA BÁSICA

GUÍA DE ESTUDIO

JULIO ENRIQUE RAMIREZ HUANCA



ISBN: 978-9915-698-49-6



9 789915 698496

Histología veterinaria básica

Julio Enrique Ramirez Huanca

© Julio Enrique Ramirez Huanca, 2025

Primera edición (1ra. ed.): Noviembre, 2025

Editado por:

Editorial Mar Caribe ®

www.editorialmarcaribe.es

Av. Gral. Flores 547, 70000 Col. del Sacramento, Departamento de Colonia, Uruguay.

Diseño de caratula e ilustraciones:
Consejo de redacción

Libro electrónico disponible en:

<https://editorialmarcaribe.es/ark:/10951/isbn.9789915698496>

Formato: Electrónico

ISBN: 978-9915-698-49-6

ARK: [ark:/10951/isbn.9789915698496](https://editorialmarcaribe.es/ark:/10951/isbn.9789915698496)

[Editorial Mar Caribe \(OASPA\)](#): Como miembro de la Open Access Scholarly Publishing Association, apoyamos el acceso abierto de acuerdo con el código de conducta, la transparencia y las mejores prácticas de OASPA para la publicación de libros académicos y de investigación. Estamos comprometidos con los más altos estándares editoriales en ética y deontología, bajo la premisa de «Ciencia Abierta en América Latina y el Caribe»

OASPA

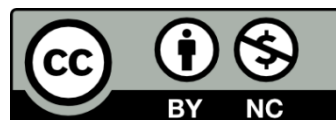
Editorial Mar Caribe, firmante N° 795 de 12.08.2024 de la [Declaración de Berlín](#)

"... Nos sentimos obligados a abordar los retos de Internet como medio funcional emergente para la distribución del conocimiento. Obviamente, estos avances pueden modificar significativamente la naturaleza de la publicación científica, así como el sistema actual de garantía de calidad..." (Max Planck Society, ed. 2003, pp. 152-153).



[CC BY-NC 4.0](#)

Los autores pueden autorizar al público en general a reutilizar sus obras únicamente con fines no lucrativos; los lectores pueden utilizar una obra para generar otra, siempre que se dé crédito a la investigación, y conceden al editor el derecho a publicar primero su ensayo bajo los términos de la licencia CC BY-NC 4.0.



Editorial Mar Caribe se adhiere a la "Recomendación relativa a la preservación del patrimonio documental, comprendido el patrimonio digital, y el acceso al mismo" de la UNESCO y a la Norma Internacional de referencia para un sistema abierto de información archivística ([OAIS-ISO 14721](#)). Este libro está preservado digitalmente por [ARAMEO.NET](#)

El autor puede permitir que el público en general reutilice su obra solo con fines no comerciales. Los lectores pueden usar la obra para crear otras, siempre y cuando reconozcan la investigación. Además, el autor concede a Editorial Mar Caribe el derecho de publicar su libro primero bajo la licencia CC BY-NC 4.0.

El autor es el propietario de los derechos de su obra, pero otorga permiso a la editorial para publicar la obra por primera vez.

Editorial Mar Caribe cuenta con el subsidio de asociaciones, fundaciones e instituciones no gubernamentales, por lo que solo se permite a los autores una donación voluntaria para cubrir aranceles de edición, maquetación y alojamiento del libro en repositorios. No existe el pago de derecho a publicación, asesoramiento metodológico o elaboración de contenido, es decir, los autores gozan del sistema de publicación en acceso abierto.

Histología veterinaria básica

Autor: Julio Enrique Ramirez Huanca

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2011-4294>

Filiación: *Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Escuela Profesional de Medicina Veterinaria. Cusco, Perú.*

Correo electrónico: julio.ramirez@unsaac.edu.pe

Editorial Mar Caribe

Histología Veterinaria Básica

Guía de estudio

Colonia, Uruguay

2025

Índice

Introducción.....	8
Sección 1	10
Tejido epitelial.....	10
a. Membrana basal	10
b. Uniones celulares	11
Figura 1. Uniones celulares.....	11
Figura 2. Conexión de varias uniones estrechas y de anclaje al citoesqueleto	14
c. Modificaciones celulares del epitelio.....	14
Figura 3. Representación esquemática de las modificaciones apicales: microvellosidades, estereocilios y cilios	15
Tabla 1. Comparación entre modificaciones apicales	16
d. Epitelios de revestimiento	16
Figura 4. Hígado (alpaca)	18
Figura 5. Útero (gata).....	18
Figura 6. Riñón (cobayo).....	19
Figura 7. Ovario (alpaca).....	20
Figura 8. Estómago región pilórica (perro)	20
Figura 9. Esófago (perro)	21
Figura 10. Piel (vaca).....	22
Figura 11. Almohadilla plantar (gallo).....	22
Figura 12. Esófago (perro)	23
Figura 13. Uretra peneana (ser humano).....	24
Figura 14. Conducto de la glándula submandibular	24
Figura 15. Tráquea (llama).....	25
Figura 16. Bronquio	25
Figura 17. Riñón (llama).....	26
Figura 18. Vejiga urinaria (perro).....	26
Tabla 2. Detalles de los epitelios de revestimiento	27
e. Epitelios glandulares	28
Tabla 3. Diferencias clave entre glándulas endocrinas y exocrinas	30
Figura 19. Duodeno (rata).....	31
Figura 20. Útero (llama)	31

Figura 21. Párpado (llama)	32
Figura 22. Glándula mamaria, adenómero alveolar	32
Figura 23. Páncreas, adenómero acinar	33
Figura 24. Esófago (perro)	33
Figura 25. Páncreas (perro).....	34
Figura 26. Glándula salival sublingual (llama).....	34
Figura 27. Esquema de la forma de secreción de las glándulas	35
Figura 28. Esquema de glándulas simples y compuestas	36
Tabla 4. Clasificación morfológica de glándulas	36
Sección 2	38
Tejido conectivo	38
a. Matriz extracelular.....	38
Tabla 5. Comparación entre los tipos de fibras	40
Figura 29. Fibras de colágeno.....	40
Figura 30. Fibras elásticas	41
Figura 31. Fibras reticulares	42
Figura 32. Estructura de proteoglicano	44
Figura 33. Glucosaminoglucanos y glucoproteínas de adhesión.....	44
b. Células del tejido conectivo	45
Figura 34. Célula mesenquimal	46
Figura 35. Células plasmáticas.....	48
Tabla 6. Células del tejido conectivo	49
c. Tejido conectivo embrionario	49
Figura 36. Pulpa dentaria de feto (cabra).....	50
Figura 37. Cordón umbilical (cabra).....	51
Figura 38. Cresta (gallo)	51
d. Tejido conectivo propiamente dicho.....	51
Figura 39. Base de la lengua (alpaca)	52
Figura 40. Tendón (gallo)	53
Figura 41. Dermis.....	54
e. Tejido conectivo especializado.....	54
Figura 42. Grasa (gallo)	55
Figura 43. Grasa parda (conejo)	56

Tabla 7. Células del tejido cartilaginoso.....	58
Figura 44. Cartílago alar de la nariz (gato).....	59
Figura 45. Epiglotis (llama).....	60
Figura 46. Pabellón auricular (oveja).....	60
Figura 47. Meniscos articulares.....	61
Figura 48. Esquema del tejido óseo	62
Tabla 8. Células del tejido óseo	64
Figura 49. Diferenciación y ciclo de vida de osteoblastos y osteoclastos antes de la apoptosis.	64
Figura 50. Hueso esponjoso (perro).....	65
Figura 51. Osteoclastos.....	65
Figura 52. Hueso compacto (mono)	66
Figura 53. Hueso compacto mayor aumento	67
Tabla 9. Hueso esponjoso y compacto.....	67
Figura 54. Osificación intramembranosa (esquema).....	69
Figura 55. Osificación endocondral (perro).....	71
Tabla 10. Característica de los tipos de osificación.....	71
Figura 56. Sangre periférica (caballo).....	78
Figura 57. Células sanguíneas en sangre periférica (caballo)	78
Figura 58. Sangre periférica (ser humano)	80
Figura 59. Sangre periférica (gallo).....	81
Figura 60. Nódulo linfático (cerdo)	83
Figura 61. Nódulo linfático (vaca)	83
Figura 62. Médula ósea (ratón)	85
Figura 63. Eritropoyesis	86
Sección 3	89
Tejido muscular	89
a. Tejido muscular estriado voluntario	89
Figura 64. Representación esquemática de un músculo esquelético	91
Figura 65. Lengua corte longitudinal (cuy)	91
Figura 66. Lengua corte transversal (cuy)	92
b. Tejido muscular estriado involuntario.....	92
Figura 67. Músculo cardíaco corte longitudinal (alpaca)	94

Figura 68. Músculo cardíaco corte transversal (alpaca)	94
c. Tejido muscular liso	94
Figura 69. Musculo liso intestino (mono)	95
Figura 70. Esquema de la contracción muscular lisa	96
Sección 4	97
Tejido nervioso	97
a. Neuronas	97
Figura 71. Neuronas	98
Figura 72. Tipos de neuronas	99
Figura 73. Esquema de los tipos de sinapsis	100
Figura 74. Sinapsis	101
b. Células gliales.....	102
Figura 75. Esquemas de los principales tipos celulares del tejido nervioso.	103
Figura 76. Células endoteliales.....	106
Figura 77. Ganglio dorsal.....	107
Figura 78. Nervio periférico (ser humano).....	107
Tabla 11. Células gliales	108
c. Fibras mielínicas.....	108
Figura 79. Esquema de mielinización	109
Conclusión	110
Bibliografía	112

Introducción

El estudio de los tejidos básicos constituye el cimiento de la histología veterinaria, proporcionando las bases morfológicas y funcionales necesarias para comprender la estructura de los órganos y su relación con la fisiología y la patología animal. En el ámbito veterinario, se estudian cuatro tejidos básicos que, mediante su asociación y especialización, forman todos los órganos y sistemas de las especies domésticas, cada uno con características y funciones específicas que determinan su importancia en el organismo.

El tejido epitelial se caracteriza por células estrechamente unidas y una escasa matriz extracelular, y cumple funciones esenciales de revestimiento, protección y secreción. Este tejido se subclasifica en epitelios de revestimiento, que pueden ser simples o estratificados, y en epitelios glandulares, que se dividen en exocrinos y endocrinos. Su relevancia en veterinaria es primordial, ya que constituye la piel, las mucosas y las glándulas, actuando como primera barrera de defensa frente a agentes externos y participando activamente en procesos de absorción y secreción.

El tejido conectivo se distingue por presentar una abundante matriz extracelular con células dispersas, que cumplen funciones vitales de soporte, unión y defensa. Este tejido incluye diversas variantes como el tejido conectivo propiamente dicho (laxo y denso), el tejido adiposo, cartilaginoso, óseo y sanguíneo. En la práctica veterinaria, su estudio es crucial para comprender el soporte estructural del organismo, el almacenamiento de energía y los mecanismos de respuesta inmunológica que garantizan la salud animal.

El tejido muscular está formado por células especializadas en la contracción, responsables del movimiento y de la contractilidad. Se clasifica en tres tipos principales: músculo estriado esquelético, de carácter voluntario; músculo estriado cardíaco, de naturaleza involuntaria; y músculo liso, también involuntario. La relevancia veterinaria de este tejido abarca desde la locomoción y la postura hasta la función cardíaca y los movimientos viscerales y es esencial para el funcionamiento integral del organismo.

El tejido nervioso está compuesto por neuronas y células gliales especializadas en la transmisión de impulsos eléctricos, desempeñando funciones de comunicación y coordinación. Se divide en el sistema nervioso central, que incluye el encéfalo y la médula espinal, y el sistema nervioso periférico, formado por nervios y ganglios. Su estudio en

veterinaria es fundamental para comprender la integración de las funciones corporales y la respuesta adaptativa al entorno, aspectos clave para el comportamiento y el bienestar animal.

La importancia del estudio de estos tejidos radica en que permite interpretar la relación entre estructura y función, tanto en condiciones normales como en patológicas. Por ejemplo, comprender la organización del epitelio respiratorio facilita el diagnóstico de la bronquitis, mientras que el conocimiento del tejido muscular cardíaco resulta esencial para identificar las miopatías. Esta introducción sienta las bases para explorar cómo la interacción entre estos cuatro tejidos da lugar a la complejidad anatómica y funcional que caracteriza a los animales domésticos, integrando siempre la perspectiva clínica con los principios histológicos fundamentales.

Sección 1

Tejido epitelial

El tejido epitelial es uno de los cuatro tejidos básicos; se origina a partir de las tres capas embrionarias: ectodermo, mesodermo y endodermo. Está constituido por células polarizadas y yuxtapuestas, organizadas en láminas continuas que descansan sobre una membrana basal. Forman láminas que cubren o revisten superficies internas y externas, además que siempre la encontraremos en contacto con la luz o lumen de las cavidades (Pawlina & Ross, 2020). Este tejido se divide en epitelio de revestimiento y epitelio glandular. Las células que conforman este epitelio poseen dominios apicales, laterales y basales, en los que pueden presentar modificaciones apicales (microvellosidades, cilios o estereocilios); asimismo, las células están unidas mediante diversas uniones laterales (oclusivas, adherentes, desmosomas y comunicantes) y basales (contactos focales y hemidesmosomas).

Los epitelios de revestimiento pueden clasificarse en función del número de capas o estratos que poseen: simples o estratificados, y, según la forma de las células, pueden ser planas, cúbicas, cilíndricas o columnares. De esta manera, en un organismo animal se pueden diferenciar varios tipos de epitelios de revestimiento.

a. Membrana basal

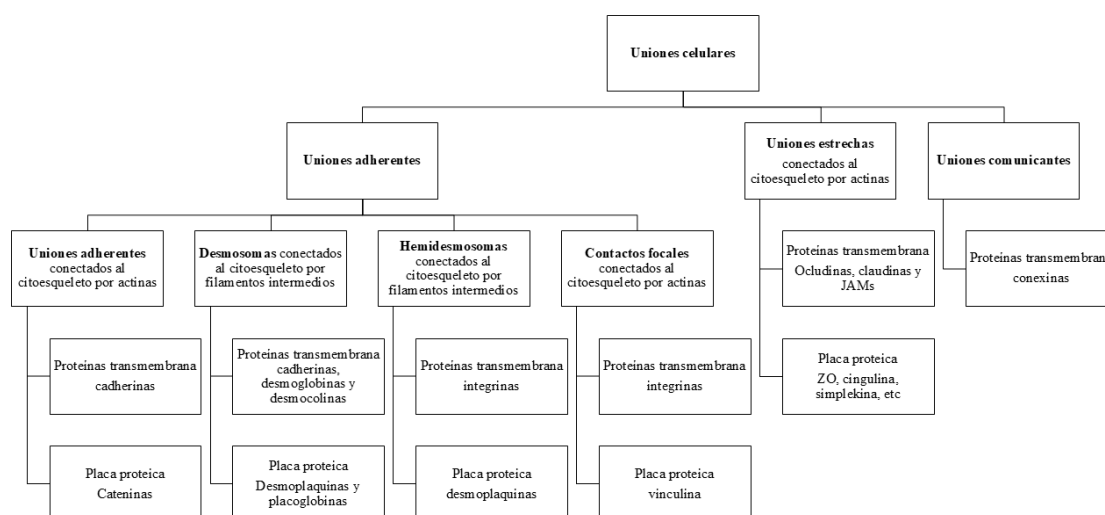
Entre las células epiteliales y el tejido conectivo subyacente se encuentra una capa de soporte no celular denominada membrana basal o lámina basal. El uso de los términos membrana basal y lámina basal es inconsistente e intercambiable en la literatura. Mediante diferentes tinciones tisulares, la membrana basal se reconoció y describió inicialmente al microscopio óptico. Con la llegada de la microscopía electrónica de transmisión (MET), se observó que la membrana basal estaba compuesta por dos componentes principales: la lámina basal y la lámina reticular. La lámina basal está formada por fibrillas finas y mantiene contacto directo con los polos basales de las células epiteliales. La lámina reticular se encuentra debajo de la lámina basal; está formada por fibras de colágeno y es más difusa. Esta capa soporta la lámina basal y se continúa con el tejido conectivo (Eroschenko, 2017). La membrana basal proporciona a los tejidos una amplia gama de funciones que incluyen la

separación de tejidos, la barrera, el suministro de un sustrato adhesivo y una plataforma de señalización para la migración, la polarización, la diferenciación, la conformación de los tejidos y el crecimiento (Adil et al., 2021; Sekiguchi & Yamada, 2018).

b. Uniones celulares

El tejido epitelial se caracteriza por su alta cohesión celular, esencial para funciones de barrera, de absorción y de transporte polarizado. Esta cohesión se logra mediante complejos de unión intercelular, que pueden clasificarse en uniones laterales (entre células adyacentes) y uniones basales (entre células y la matriz extracelular) (Figura 1). Estas estructuras están compuestas por proteínas especializadas que regulan la adhesión, la comunicación y la estabilidad tisular.

Figura 1. Uniones celulares



Nota. Adaptado de (Adil et al., 2021)

▪ Uniones oclusivas (Uniones estrechas o zónula occludens)

Las uniones oclusivas son complejos proteicos localizados en la región más apical del dominio lateral de las células epiteliales. Están formadas por proteínas transmembrana, como ocludinas y claudinas, y por moléculas de unión adhesiva (JAMs), que interactúan con proteínas citoplasmáticas, como ZO-1 y ZO-2. Su función principal es actuar como una barrera de permeabilidad selectiva, regulando el paso paracelular de iones, agua y moléculas pequeñas, lo cual es crucial para mantener la homeostasis del medio interno. Además, estas

uniones desempeñan un papel fundamental en el mantenimiento de la polaridad celular al delimitar con claridad los dominios apical y basolateral.

- **Uniones Adherentes (Zóonula Adherens)**

Localizadas justo por debajo de las uniones oclusivas, las uniones adherentes son estructuras esenciales para la adhesión intercelular mecánica. Están compuestas principalmente por caderinas, especialmente la E-cadherina, que se asocian con cateninas (como la β -catenina) para unirse al citoesqueleto de actina. Estas uniones no solo proporcionan resistencia mecánica al tejido epitelial, sino que también participan en la transducción de señales, como la vía Wnt/ β -catenina, que regula procesos como la proliferación y la diferenciación celulares.

- **Desmosomas (Macula Adherens)**

Los desmosomas son estructuras especializadas en proporcionar resistencia al estrés mecánico en tejidos sometidos a fuerzas constantes, como la piel y el corazón. Estas uniones puntuales están formadas por desmogleínas y desmocollinas en la membrana plasmática, que se conectan a filamentos intermedios de queratina mediante proteínas citoplasmáticas, como las desmoplaquinas y las placoglobinas. Su función principal es mantener la integridad estructural del tejido frente a las tensiones físicas. En el ámbito clínico, los desmosomas son relevantes porque los autoanticuerpos contra desmogleínas pueden causar enfermedades autoinmunes, como el pénfigo, caracterizado por la aparición de ampollas cutáneas.

- **Uniones de comunicación (Gap Junctions)**

Las uniones comunicantes son canales intercelulares formados por conexinas que permiten el paso directo de iones y de pequeñas moléculas (menos de 1 kDa) entre células adyacentes. Estas estructuras son fundamentales para la sincronización de actividades celulares, como la contracción coordinada del músculo cardíaco o la propagación de señales eléctricas en las neuronas. Además, facilitan el intercambio metabólico y la comunicación intercelular en diversos tejidos. Las mutaciones en las conexinas se han asociado con enfermedades como la sordera neurosensorial y ciertas neuropatías periféricas.

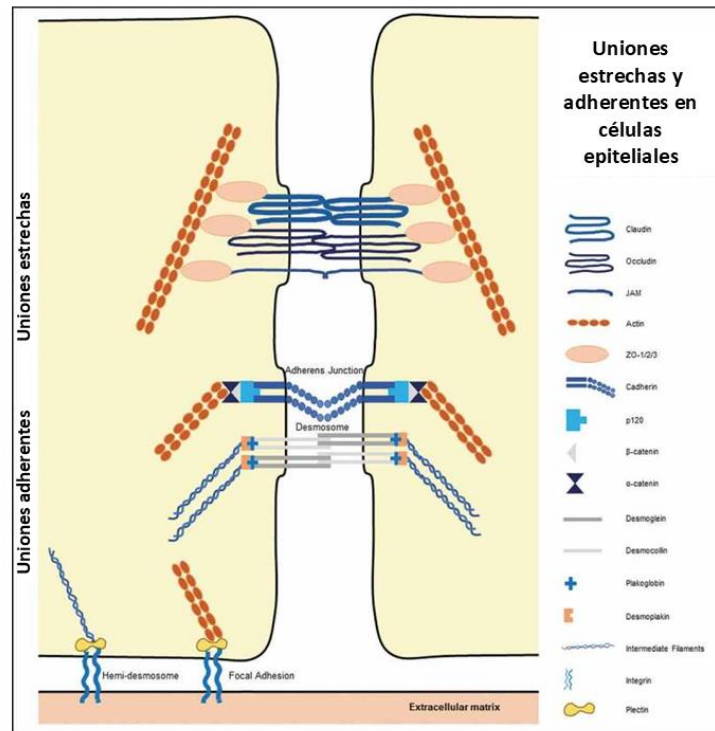
▪ **Hemidesmosomas**

Los hemidesmosomas son estructuras de anclaje que conectan las células epiteliales con la lámina basal subyacente. Están compuestos por integrinas, específicamente $\alpha 6\beta 4$, que se unen a la laminina de la matriz extracelular, y por proteínas intracelulares como plectina y BP230, que vinculan estas integrinas al citoesqueleto de queratina. Su función principal es proporcionar un anclaje estable y resistente a las fuerzas mecánicas. Defectos en los componentes de los hemidesmosomas, como la integrina $\alpha 6\beta 4$, pueden causar enfermedades genéticas como la epidermólisis bullosa, caracterizada por una extrema fragilidad cutánea.

▪ **Contactos focales**

Los focos de adhesión son estructuras dinámicas que facilitan la adhesión de las células a la matriz extracelular mediante integrinas, como $\alpha 5\beta 1$, que se unen a proteínas de la matriz, como la fibronectina (Figura 2). A diferencia de los hemidesmosomas, estos complejos están asociados al citoesqueleto de actina y son especialmente importantes en procesos como la migración celular y la reparación tisular. En el contexto patológico, los focos de adhesión focal están implicados en la metástasis del cáncer, ya que facilitan la invasión de células tumorales a través de la matriz extracelular (Adil et al., 2021).

Figura 2. Conexión de varias uniones estrechas y de anclaje al citoesqueleto



Nota. Tomado de (Adil et al., 2021)

c. Modificaciones celulares del epitelio

▪ Microvellosidades

Son proyecciones citoplasmáticas digitiformes de 1–2 μm de longitud, recubiertas por membrana plasmática (Figura 3). Su núcleo interno contiene un haz de 20–30 filamentos de actina orientados longitudinalmente, unidos entre sí por proteínas como villina y fimbrina. Se anclan a la red terminal de actina y miosina (zona de anclaje al citoesqueleto). Su función es aumentar la superficie de absorción hasta 20–30 veces (p. ej., en los bordes del cepillo del intestino delgado). Además, participan en la digestión: albergan enzimas como la sacarasa y la maltasa en sus membranas. Se localizan en los enterocitos del intestino delgado (forman el "borde en cepillo"), células de los túbulos renales proximales (Lange, 2011).

▪ Cilios

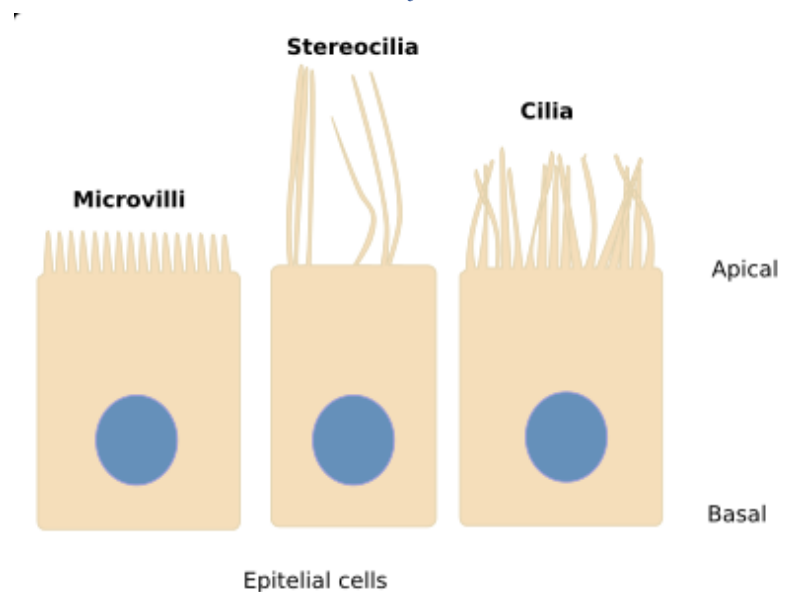
Los cilios son estructuras con proyecciones largas (5–10 μm) y un eje central llamado axonema. Este último está compuesto por 9 pares de microtúbulos periféricos + 2 centrales (estructura 9+2), unidos por dineínas. En su base presenta el corpúsculo basal (similar a un centríolo), que organiza los

microtúbulos (Pazour, 2024). Los cilios se mueven al unísono para desplazar los óvulos de los mamíferos a través de los oviductos y eliminar los residuos del tracto respiratorio. Se localizan en el epitelio respiratorio (tráquea, bronquios). Oviductos, endimocitos (ventrículos cerebrales).

▪ Estereocilios

Son estructuras con proyecciones largas y poco móviles (hasta 120 μm), ramificadas y flexibles. Al igual que las microvellosidades, los estereocilios aumentan la superficie celular, lo que facilita la absorción (véase la Tabla 1). Los estereocilios, más especializados y con función de detección de movimiento, son componentes importantes de las células sensoriales del oído interno (Mescher, 2023). Los estereocilios se asemejan a las microvellosidades al contener conjuntos de microfilamentos y proteínas de unión a la actina, con diámetros y conexiones similares a los de la red terminal celular. Sin embargo, los estereocilios suelen ser mucho más largos y menos móviles que las microvellosidades y pueden presentar ramificación distal. Sus funciones son: detectar vibraciones mecánicas (audición y equilibrio en el oído interno). Absorción y secreción modificadas (p. ej., epidídimo). Se localizan en las células ciliadas del órgano de Corti (oído interno), en el epidídimo (maduración de espermatozoides).

Figura 3. Representación esquemática de las modificaciones apicales: microvellosidades, estereocilios y cilios



Nota. Tomado de (Megías et al., 2020b).

Tabla 1. Comparación entre modificaciones apicales

Característica	Microvellosidades	Cilios	Estereocilios
Estructura interna	Filamentos de actina	Microtúbulos (9+2)	Haces de actina
Movilidad	Inmóviles	Móviles	Inmóviles
Longitud	1–2 μm	5–10 μm	Hasta 120 μm
Función principal	Absorción	Transporte de fluidos	Detección mecánica
Ejemplos	Intestino delgado	Tráquea, oviducto	Oído interno, epidídimo

d. Epitelios de revestimiento

El tejido epitelial de revestimiento es un tejido formado por células estrechamente unidas que recubren las superficies externas e internas del cuerpo de los animales. Su función principal es actuar como barrera protectora frente a agentes físicos, químicos y biológicos, aunque también participa en procesos de absorción, secreción, transporte y percepción sensorial (Banks, 1996; Eurell & Frappier, 2006). Este tejido se caracteriza por su organización en capas continuas, su avascularidad (carece de vasos sanguíneos y se nutre por difusión desde el tejido conectivo subyacente) y su alta capacidad de regeneración, lo que le permite repararse rápidamente ante daños (Liebich, 2019).

Una de las características distintivas del tejido epitelial de revestimiento es su polaridad celular, es decir, sus células presentan un polo apical (orientado hacia la superficie libre o lumen) y un polo basal (unido a una membrana basal que lo separa del tejido conectivo) (Pawlina, 2016). Además, este tejido suele estar innervado, con terminaciones nerviosas sensitivas que permiten la detección de estímulos como el tacto, el dolor o los cambios químicos.

En el organismo animal, el tejido epitelial de revestimiento se encuentra en diversas localizaciones y cumple funciones específicas según su ubicación. Por ejemplo, forma la epidermis de la piel, protegiendo contra la deshidratación y las infecciones; recubre las mucosas de los tractos digestivo, respiratorio, urinario y reproductivo, facilitando la absorción y el transporte de sustancias; y cubre las cavidades serosas (como el peritoneo y la pleura), reduciendo la fricción entre los órganos. También reviste los conductos glandulares y participa en la formación de

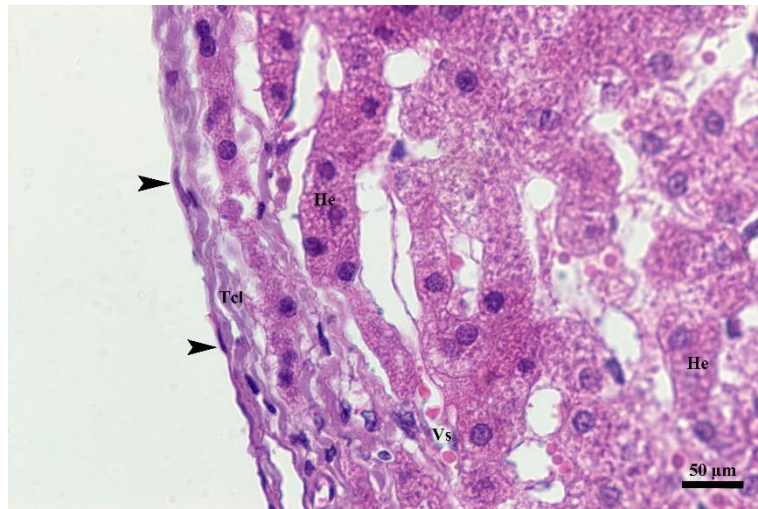
estructuras especializadas, como las microvellosidades intestinales o los cilios respiratorios (Liebich, 2019; Mescher, 2023).

Los tipos de tejido epitelial de revestimiento se clasifican principalmente según dos criterios: el número de capas celulares y la forma de las células superficiales. Según el número de capas, puede ser simple (una sola capa, como en el endotelio vascular o en los alvéolos pulmonares), estratificado (varias capas, como en la piel o en el esófago) o pseudoestratificado (aparenta varias capas, pero todas las células contactan con la membrana basal, como en la tráquea). Por otro lado, según la forma celular, existen epitelios planos, cúbicos y cilíndricos, cada uno adaptado a funciones específicas (véase la Tabla 2). Un caso especial es el epitelio de transición, presente en la vejiga urinaria, que puede cambiar de forma para adaptarse al grado de distensión del órgano (Bacha & Bacha, 2012; Eurell & Frappier, 2006; Liebich, 2019).

- **Epitelio simple plano**

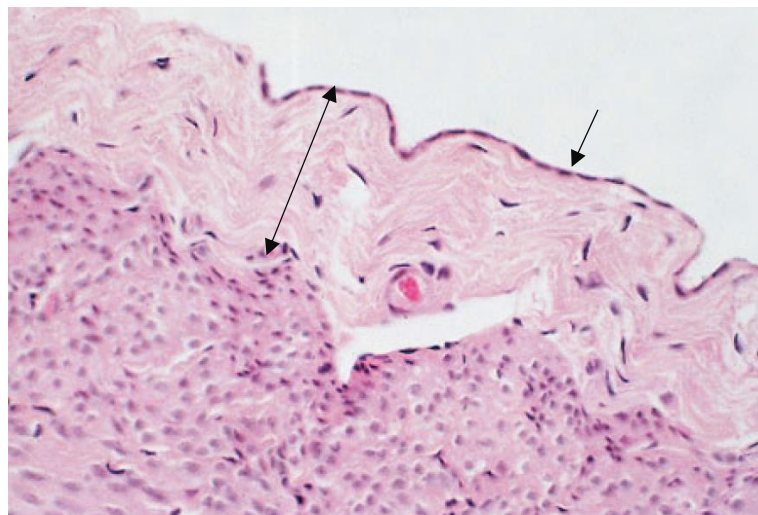
Está formado por una única capa de células aplanadas y con núcleos ovalados, adaptadas para facilitar el intercambio de sustancias. Se localiza en superficies donde la difusión pasiva es crítica, como el endotelio de vasos sanguíneos y linfáticos, el mesotelio de cavidades serosas (pleural, pericárdica, peritoneal) y de estructuras renales (cápsula de Bowman, asa de Henle) (Figuras 4 y 5). Su función principal es permitir el transporte eficiente de gases (oxígeno y dióxido de carbono en alvéolos pulmonares) y actuar como barrera selectiva, mientras reduce la fricción entre órganos en cavidades corporales (Gartner, 2018; Junqueira & Carneiro, 2015).

Figura 4. Hígado (alpaca)



Nota. Se muestra el epitelio simple plano (cabeza de flecha). Este epitelio forma parte de la serosa, que recubre el hígado; los hepatocitos (He). Barra de 50 μm, H&E. Archivo del Laboratorio de Histología y Patología, Medicina Veterinaria, UNSAAC.

Figura 5. Útero (gata)



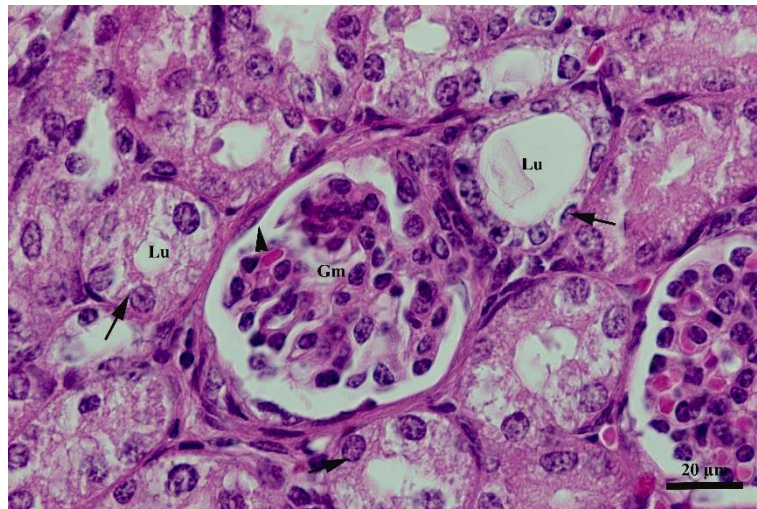
Nota. Epitelio simple plano (flecha) que forma parte de la serosa y cubre el útero (doble flecha). Las células escamosas simples se encuentran en la superficie serosa libre del útero. H&E. ×160 (Aughey & Frye, 2001).

▪ **Epitelio simple cúbico**

Compuesto por células hexagonales con núcleos centrales, se especializa en procesos de absorción y secreción. Aunque su nombre sugiere una forma cúbica, las células son prismáticas con múltiples caras (Figura 6). Se encuentra en los túbulos renales, donde reabsorbe agua y electrolitos; en los conductos biliares del hígado; en las glándulas tiroideas (epitelio folicular); y en los alvéolos lácteos de la mama. En estos sitios, su organización facilita el

transporte activo y la conducción de fluidos, además de aportar protección en conductos excretores glandulares (Megías et al., 2020b; Paniagua, 2007).

Figura 6. Riñón (cobayo)

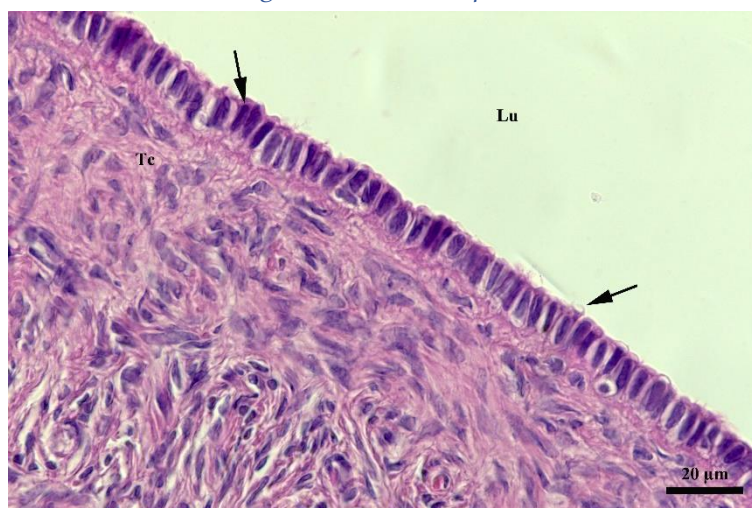


Nota. Se visualiza la corteza renal, que contiene el glomérulo renal con diferentes células en su interior (Gm). El glomérulo posee la cápsula de Bowman, constituida por un epitelio simple plano (punta de flecha). Alrededor del glomérulo se observan los túbulos renales, constituidos por un epitelio simple cúbico (flecha), y la luz de estos túbulos (Lu). Barra: 20 μm. H&E. Archivo del Laboratorio de Histología y Patología, Medicina Veterinaria, UNSAAC.

▪ Epitelio simple cilíndrico

Este epitelio se caracteriza por presentar células alargadas con núcleos basales y dominios apicales especializados (Figuras 7 y 8). En el intestino delgado se presentan microvellosidades que aumentan la superficie de absorción, mientras que en el oviducto y en los bronquiolos se encuentran cilios para movilizar el moco o los gametos. Este epitelio reviste mucosas secretoras como el estómago (células caliciformes productoras de moco), el endocérnix y la vesícula biliar. De igual forma, se encuentra en la superficie del ovario de los camélidos sudamericanos. Su función dual combina la secreción de sustancias protectoras (moco gástrico) con la absorción de nutrientes (vellosidades intestinales), adaptándose a entornos químicamente hostiles o mecánicamente activos (Alonso de León, 2009; Megías et al., 2020b).

Figura 7. Ovario (alpaca)



Nota. Se observa la parte externa del ovario; por debajo de la luz (Lu) se ubican el epitelio cilíndrico simple (flecha) y el tejido conectivo (Tc). Barra: 20 μ m. H&E. Archivo del Laboratorio de Histología y Patología, Medicina Veterinaria, UNSAAC.

Figura 8. Estómago región pilórica (perro)



Nota. Se muestra la luz del estómago (Lu); el epitelio simple cilíndrico (doble flecha); células secretoras de moco (flecha); tejido conectivo (Tc) (Bacha & Bacha, 2012).

▪ **Epitelio estratificado plano no queratinizado**

Este epitelio posee varias capas que se organizan en estrato basal, estrato intermedio y estrato superficial (Figura 9). Carece de estrato córneo y mantiene células nucleadas en su superficie. Reviste mucosas húmedas como la cavidad oral, el esófago de los carnívoros, la vagina, la córnea y la conjuntiva, donde la lubricación constante evita la necesidad de queratinización. Su estructura se adapta a ambientes con fricción moderada, pero sin desgaste extremo (Brüel et al., 2012; Megías et al., 2020b).

Figura 9. Esófago (perro)

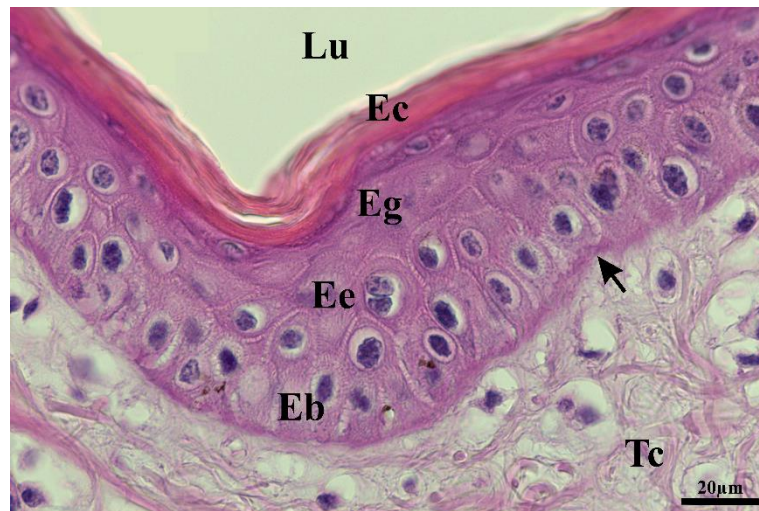


Nota. Se observa epitelio estratificado plano no queratinizado. Lumen (Lu); estrato superficial (Cs); estrato intermedio (Ci); estrato basal (Cb); tejido conectivo (Tc). Barra: 20 μ m. H&E. Archivo del Laboratorio de Histología y Patología, Medicina Veterinaria, UNSAAC.

- **Epitelio estratificado plano queratinizado**

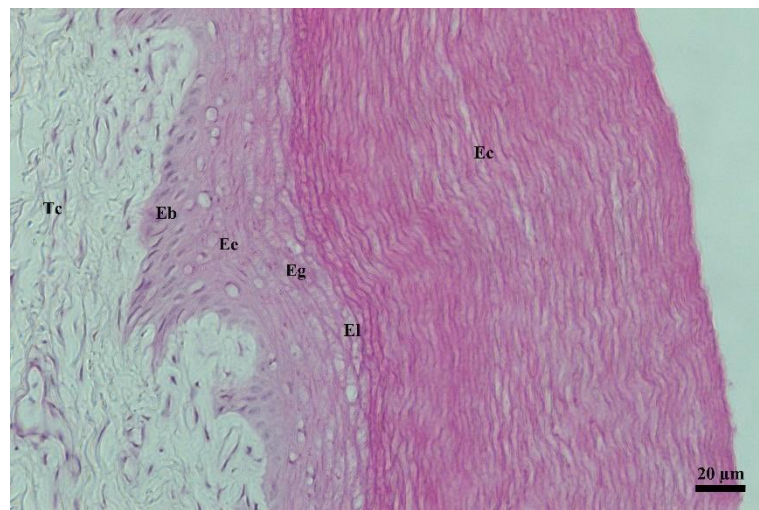
Este epitelio es característico de la piel y consta de múltiples capas que se diferencian en el estrato basal (con queratinocitos y melanocitos), el estrato espinoso, el estrato granuloso (en el que los queratinocitos comienzan a producir grandes cantidades de queratohialina) y el estrato córneo (donde las células muertas forman una barrera rica en queratina) (Figura 10). En zonas de piel gruesa, como las almohadillas plantares, se observa un estrato lúcido adicional con eleidina (sustancia proteica ubicada en el estrato lúcido, precursora de la queratina y que ayuda a impedir la entrada y salida de agua) (Figura 11). Su función principal es proteger contra la abrasión, la desecación y el ingreso de patógenos y se encuentra en la epidermis, las papilas linguales, las almohadillas plantares y el esófago de herbívoros (Alonso de León, 2009; Gartner, 2018).

Figura 10. Piel (vaca)



Nota. Se muestra la piel delgada en su sección de la epidermis donde se visualiza el epitelio estratificado plano queratinizado. Luz (Lu); estrato córneo (Ec); estrato granuloso (Eg); estrato espinoso (Ee); estrato basal (Eb); membrana basal (flecha); tejido conectivo (Tc). Barra: 20 μ m. H&E. Archivo del Laboratorio de Histología y Patología, Medicina Veterinaria, UNSAAC.

Figura 11. Almohadilla plantar (gallo)



Nota. Se observa epitelio estratificado plano queratinizado. Estrato córneo (Ec); estrato lúcido (El); estrato granular (Eg); estrato espinoso (Ee); estrato basal (Eb); tejido conectivo (Tc). Barra: 20 μ m. H&E. Archivo del Laboratorio de Histología y Patología, Medicina Veterinaria, UNSAAC.

▪ Epitelio estratificado cúbico

Este epitelio está formado por dos capas de células y se encuentra en los conductos excretores de las glándulas sudoríparas, mamarias y esofágicas, así como en el iris ocular (Figura 12). Su función es proteger y conducir secreciones (Bacha & Bacha, 2012; Paniagua, 2007).

Figura 12. Esófago (perro)

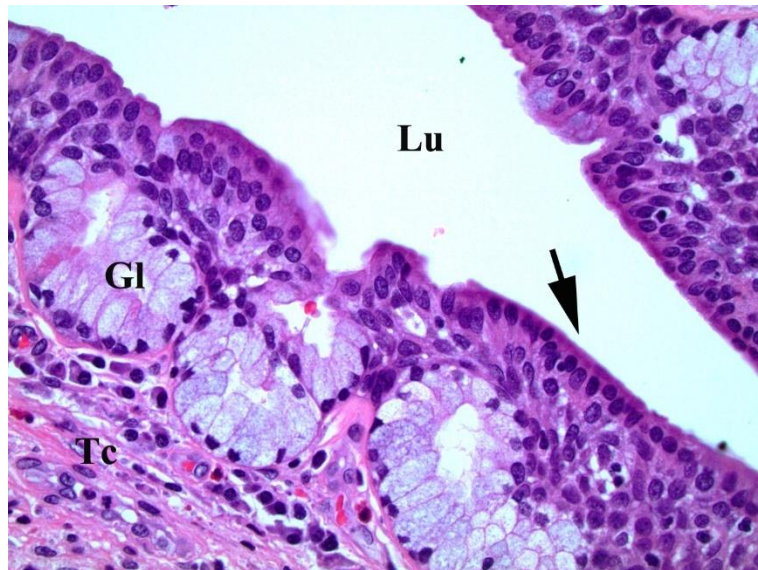


Nota. Se observa una glándula esofágica, en la cual se visualizan: adenómero compuesto por células secretoras mucosas (Ad); luz del conducto secretor de la glándula (Lu); y epitelio estratificado cúbico que forma el conducto de la glándula (flecha). Barra: 20 µm. H&E. Archivo del Laboratorio de Histología y Patología, Medicina Veterinaria, UNSAAC.

▪ **Epitelio estratificado cilíndrico**

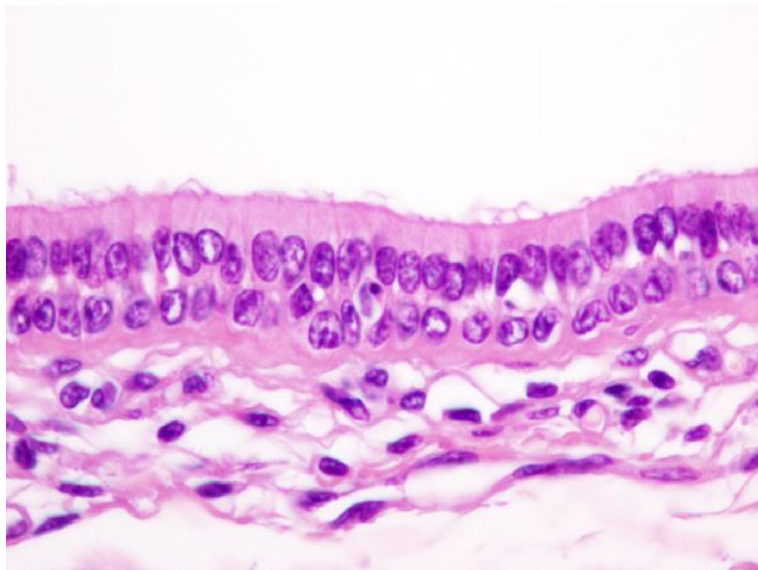
Se compone de múltiples capas celulares, en las que solo la capa superficial está formada por células cilíndricas, mientras que las capas basales presentan células poliédricas más pequeñas (Figuras 13 y 14). Este tejido se localiza en regiones específicas, como la uretra distal, los conductos lagrimales y los conductos excretores de las glándulas salivales mayores (parótida y submandibular). Su estructura proporciona protección mecánica en zonas expuestas a estrés moderado, como el paso de fluidos corporales, y combina resistencia con flexibilidad para adaptarse a cambios de volumen (Eurell & Frappier, 2006).

Figura 13. Uretra peneana (ser humano)



Nota. Se aprecian el epitelio estratificado cilíndrico (flecha), el lumen (Lu) y las glándulas de Littre (Gl). H&E. (Chavez & Zynger, 2023).

Figura 14. Conducto de la glándula submandibular



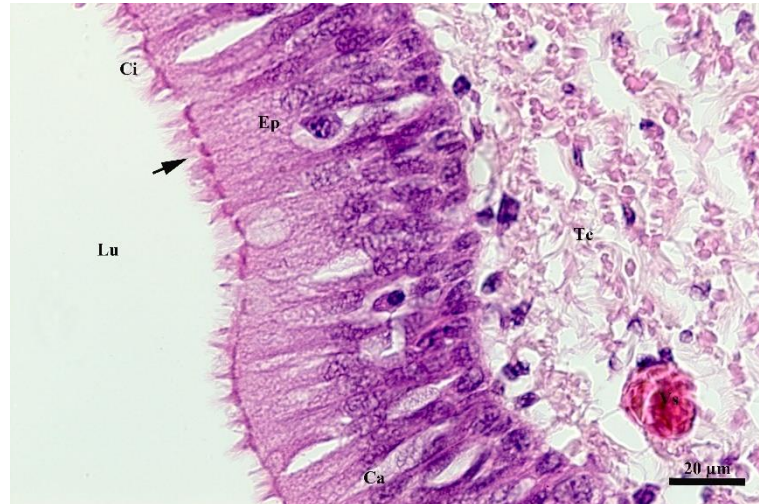
Nota. Epitelio estratificado cilíndrico, en este caso, biestratificado. Este epitelio presenta dos capas de células, cúbicas basales y cilíndricas superficiales (Gómez Sánchez et al., 2024).

▪ **Epitelio pseudoestratificado**

Este epitelio presenta una apariencia estratificada debido a la disposición de sus núcleos a distintas alturas, aunque todas las células contactan con la membrana basal (Figuras 15 y 16). Está compuesto por células cilíndricas (con cilios en las vías respiratorias o estereocilios en el epidídimo) y células basales con función regenerativa. Este tejido se localiza en la tráquea, los bronquios, el

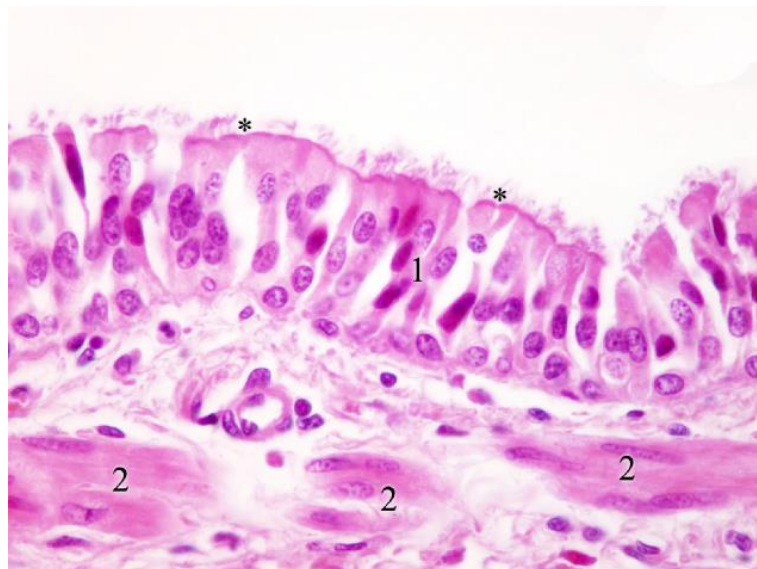
epidídimo y el oviducto de algunas especies animales, donde cumple funciones de protección y de transporte de sustancias, como el moco en el sistema respiratorio (Megías et al., 2020b; Paniagua, 2007).

Figura 15. Tráquea (llama)



Nota. Se muestra el epitelio pseudoestratificado. Lumen (Lu); dominio apical (flecha); cilios (Ci); células del epitelio pseudoestratificado (Ep); célula caliciforme (Ca); vaso sanguíneo (Vs). Barra: 20 µm. H&E. Archivo del Laboratorio de Histología y Patología, Medicina Veterinaria, UNSAAC.

Figura 16. Bronquio



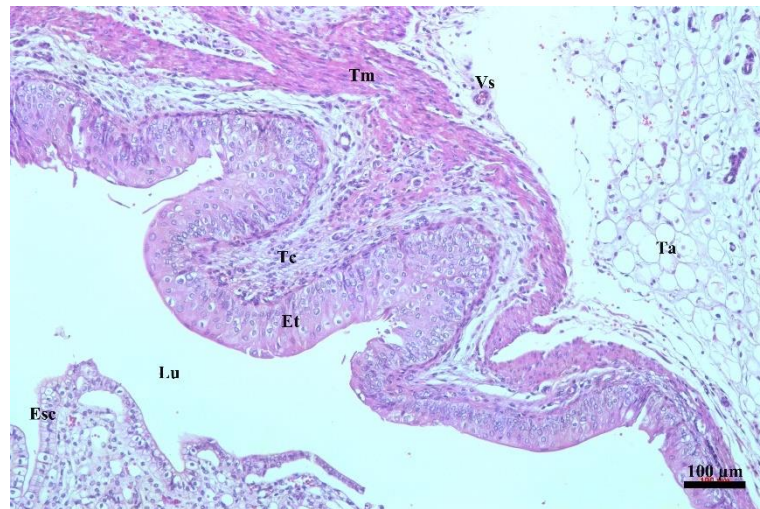
Nota. Epitelio seudoestratificado cilíndrico ciliado (1) cortado tangencialmente. Por ello aparece como si hubiera varias capas de células. Cilios (*). Músculo liso (2). (Gómez Sánchez et al., 2024).

▪ Epitelio de transición

Este epitelio es conocido como urotelio debido a que es exclusivo de las vías urinarias (cálices renales, uréteres, vejiga y uretra proximal) (Figuras

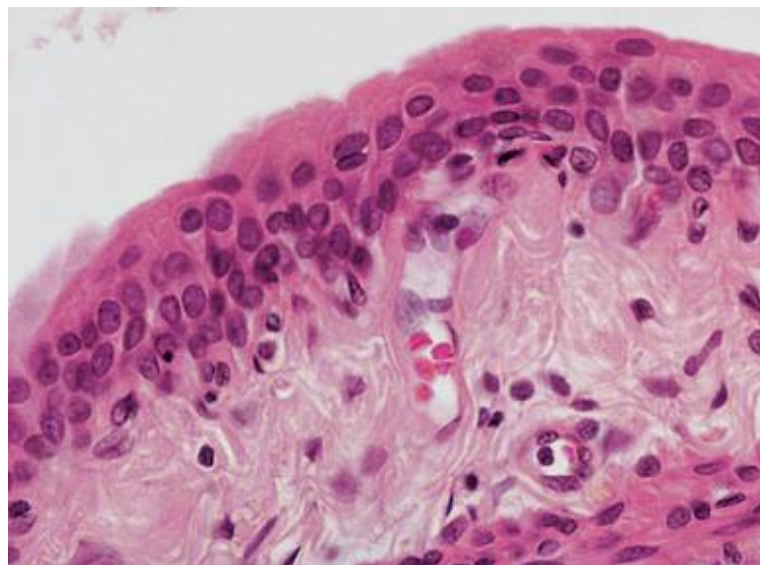
17 y 18). Su principal característica es la plasticidad morfológica: en estado relajado (vejiga vacía), presenta 4–6 capas celulares con células superficiales en forma de "cúpula"; al distenderse (vejiga llena), se reduce a 2–3 capas celulares aplanadas. Este epitelio funciona como una barrera impermeable, evitando la difusión de agua, iones y toxinas desde la orina hacia los tejidos subyacentes. Su eficacia como aislante supera incluso a la epidermis, gracias a proteínas especializadas como las uroplaquinas en la membrana apical (Liebich, 2019; Megías et al., 2020b; Paniagua, 2007).

Figura 17. Riñón (llama)



Nota. Se observa epitelio de transición. Lumen (Lu); epitelio simple cúbico (Esc); epitelio de transición (Et); tejido conectivo (Tc); vaso sanguíneo (Vs); tejido muscular (Tm); tejido adiposo (Ta). Barra: 100 μm. H&E. Archivo del Laboratorio de Histología y Patología, Medicina Veterinaria, UNSAAC.

Figura 18. Vejiga urinaria (perro)



Nota. En el epitelio de transición, inmediatamente después de la luz, las células superficiales presentan una apariencia redondeada; la capa media tiene forma de pera y la capa basal es columnar. H&E. $\times 125$. (Aughey & Frye, 2001).

Tabla 2. Detalles de los epitelios de revestimiento

Tipo de epitelio	Número de capas	Tipo de células en el epitelio	Superficie apical	Ubicaciones principales (revestimiento)	Funciones principales
Epitelio simple plano	Una	Células epiteliales planas y aplanadas	Lisa	Vasos sanguíneos y linfáticos (endotelio); superficie de cavidades corporales (mesotelio); alvéolos pulmonares	Transporte de fluidos, lubricación e intercambio
Epitelio cúbico simple	Una	Células epiteliales cúbicas (altura igual al ancho)	Lisa/microvellosidades cortas; microvellosidades largas según ubicación	Túbulos renales, folículos tiroideos; pequeños conductos de glándulas exocrinas y superficie del ovario	Absorción, secreción y transporte
Epitelio columnar simple	Una	Células columnares absorbentes y células secretoras como células caliciformes	Mayormente microvellosidades; cilios en algunas ubicaciones	Mayor parte del tracto digestivo y vesícula biliar; oviductos y ductuli eferentes	Secreción, absorción, protección y transporte
Epitelio pseudoestratificado	Una	Células columnares ciliadas, células caliciformes y células basales cortas que no alcanzan la luz; todas las células descansan en la membrana basal	Mayormente cilios; estereocilios en algunas ubicaciones	Mayor parte del tracto respiratorio; conducto deferente y epidídimo	Secreción, transporte y absorción
Epitelio estratificado plano no queratinizado	Varias	Células superficiales aplanadas, células poligonales en capas medias y células cúbicas en capa basal	Superficie no queratinizada	Cavidad oral, epiglotis y esófago de carnívoros; vagina	Protección (barrera)
Epitelio estratificado plano queratinizado	Varias	Células poligonales, estrelladas y aplanadas, dispuestas en los estratos: basal, espinoso,	Superficie queratinizada	Epidermis de la piel; cavidad oral, epiglotis y esófago de herbívoros.	Protección (barrera)

		granuloso y córneo.			
Epitelio cúbico estratificado	Dos a tres	Células cúbicas	Mayormente lisa	Conductos grandes de glándulas exocrinas y conductos de glándulas sudoríparas (tipo no común)	Transporte
Epitelio columnar estratificado	Dos a tres	Células superficiales columnares bajas y células basales cúbicas	Lisa	Conductos grandes de glándulas exocrinas; conjuntiva del ojo (tipo no común)	Transporte y protección
Epitelio de transición	Cuatro a seis capas (relajado); dos a tres capas (distendido)	Células superficiales en forma de cúpula (relajado), poligonales en capa media, cúbicas en capa basal	Lisa	Tracto urinario	Transporte y protección (propiedad distensible)

e. Epitelios glandulares

El tejido epitelial glandular es un tipo especializado de epitelio cuya función principal es la secreción de sustancias útiles para el organismo, como enzimas, hormonas, moco, sudor o leche. Este tejido se origina a partir del epitelio de revestimiento durante el desarrollo embrionario, cuando algunas células se invaginan y forman estructuras glandulares (Liebich, 2019; Pawlina, 2016). A diferencia del epitelio de revestimiento, el epitelio glandular está organizado en unidades funcionales llamadas glándulas, que pueden ser unicelulares (como las células caliciformes) o pluricelulares (como el páncreas o las glándulas sudoríparas).

Una de las características más importantes del epitelio glandular es su polaridad secretora: las células presentan una región basal dedicada a la síntesis de sustancias y una región apical especializada en su liberación. Además, estas células suelen presentar un retículo endoplásmico rugoso y un aparato de Golgi muy desarrollados, ya que son esenciales para la producción y el empaquetamiento de los productos de secreción. Otra característica clave es que las glándulas están altamente vascularizadas, lo que permite un rápido transporte de hormonas y otras sustancias al torrente sanguíneo cuando es necesario.

En el organismo animal, el tejido epitelial glandular se distribuye de manera amplia y variada, formando glándulas endocrinas (como la tiroides o la hipófisis, que liberan hormonas directamente a la sangre), glándulas exocrinas (como las salivales o las sebáceas, que secretan sus productos hacia conductos que llegan a una superficie epitelial) y glándulas mixtas (como el páncreas, que tiene funciones endocrinas y exocrinas). También se encuentra en las mucosas, como en el estómago (glándulas gástricas) y en el intestino (células caliciformes productoras de moco).

Los tipos de glándulas se clasifican según diferentes criterios, por ejemplo, si son endocrinas o exocrinas, por la forma del adenómero, por el tipo y la forma de secreción, entre otros.

- **Glándulas exocrinas y endocrinas**

Las glándulas exocrinas son aquellas que liberan sus secreciones hacia superficies epiteliales, tanto externas como internas, a través de conductos excretores. Sus productos incluyen enzimas, moco, sudor y leche (Samuelson, 2007). Entre sus características, poseen conductos excretores que transportan las secreciones a su destino (p. ej., hacia la piel o hacia la luz intestinal). Producen sustancias no hormonales (como enzimas digestivas, lubricantes y protectores). Pueden ser unicelulares (células caliciformes) o pluricelulares (glándulas salivales). Según su forma, se clasifican en tubulares, acinares o mixtas. Entre estas glándulas podemos mencionar las sudoríparas, sebáceas, salivales, etc.

Por otra parte, las glándulas endocrinas liberan hormonas directamente al torrente sanguíneo (sin conductos excretores) (Eurell & Frappier, 2006). Estas hormonas actúan como mensajeros químicos, regulando funciones metabólicas, el crecimiento, el desarrollo y la homeostasis. Sus características son: carecen de conductos excretores (secreción "endocrina" = hacia dentro). Producen hormonas (p. ej., insulina, tiroxina, adrenalina). Sus células están organizadas en cordones o folículos, rodeados por una red de capilares sanguíneos que facilitan la liberación hormonal. Presentan una alta vascularización, lo que permite distribuir hormonas rápidamente. Algunos ejemplos son: la glándula hipófisis, la glándula adrenal, etc. Las diferencias entre estas glándulas se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Diferencias clave entre glándulas endocrinas y exocrinas

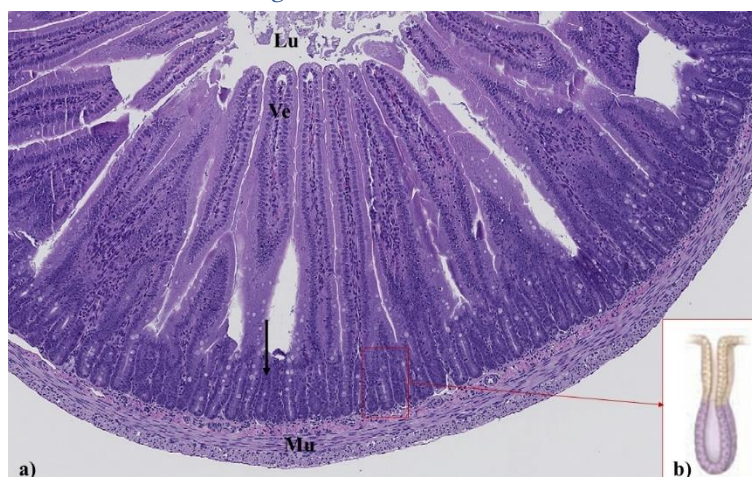
Característica	Glándulas endocrinas	Glándulas exocrinas
Presencia de conductos	No tienen conductos (secreción directa a la sangre).	Tienen conductos (secreción a superficies).
Productos secretados	Hormonas (p. ej., insulina, cortisol).	Enzimas, mucus, sudor, leche.
Mecanismo de secreción	Liberación a vasos sanguíneos.	Liberación a la piel, a las mucosas o a las cavidades.
Ejemplos	Tiroides, hipófisis, adrenales.	Glándulas sudoríparas, salivales, sebáceas.

■ Glándulas según el tipo de adenómero

Los adenómeros son las unidades funcionales en las que se localizan las células secretoras, organizadas en torno a una luz central. Según su morfología del adenómero, estas las glándulas se clasifican en:

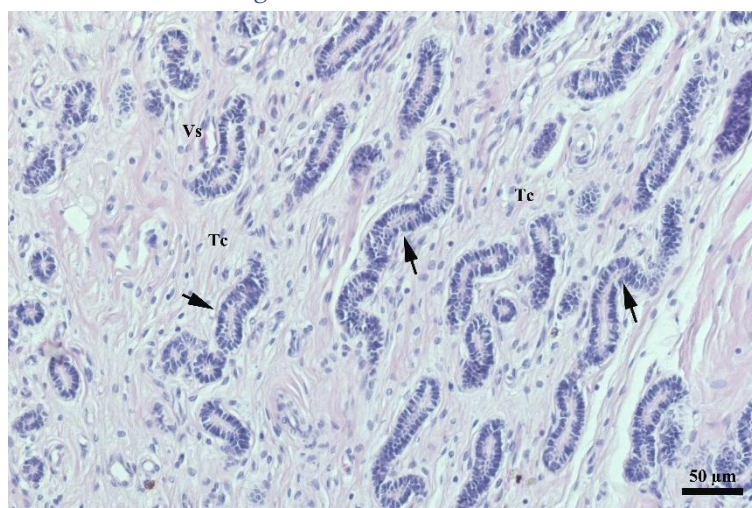
- Tubulares: La porción secretora es alargada, con una luz de diámetro uniforme (Figuras 19-21). Estas glándulas tubulares pueden ser rectas (p. ej., glándulas gástricas e intestinales), sinuosas (p. ej., glándulas uterinas) o glomerulares (p. ej., glándulas sudoríparas).
- Alveolares: La porción secretora se dilata, formando sacos (alvéolos) y presenta una luz amplia (p. ej., glándulas mamarias) (Figura 22).
- Acinares: Las células adoptan una forma piramidal debido a su disposición radial y presentan una luz muy reducida. Se pueden ubicar en las glándulas salivales, pancreáticas (Brüel et al., 2012) (Figura 23).

Figura 19. Duodeno (rata)



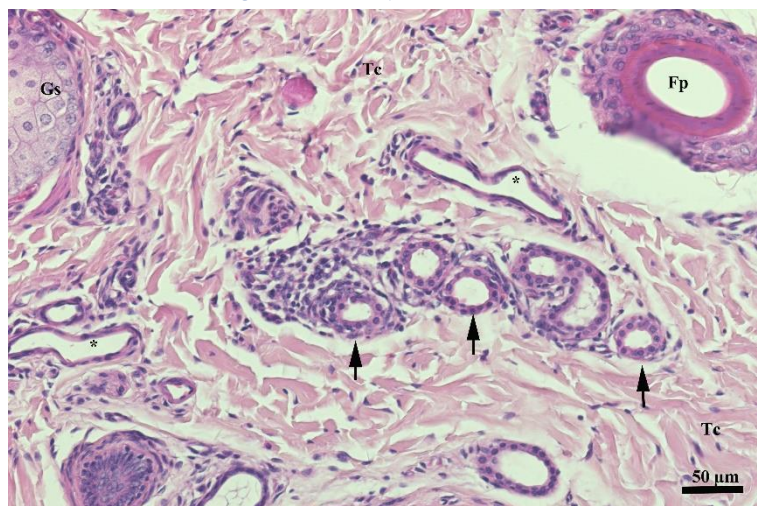
Nota. a) Se muestran la luz (Lu); las vellosidades intestinales, de forma digitiforme y revestidas de epitelio simple cilíndrico (Ve); glándulas tubulares rectas (flecha) que, en el intestino, se llaman glándulas de Lieberkühn; estas pueden compararse con el esquema de la imagen b; y la capa muscular (Ms). H&E x10. (Parker & Picut, 2016).

Figura 20. Útero (llama)



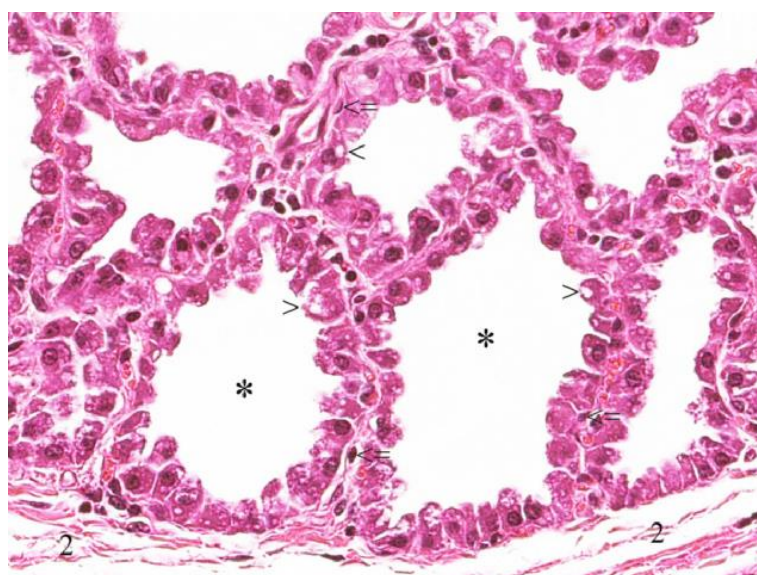
Nota. Se muestra el endometrio, donde se observan las glándulas tubulares sinuosas (flecha), el tejido conectivo (Tc) y los vasos sanguíneos (Vs). Barra de 50 μm, H&E. Archivo del Laboratorio de Histología y Patología, Medicina Veterinaria, UNSAAC.

Figura 21. Párpado (llama)



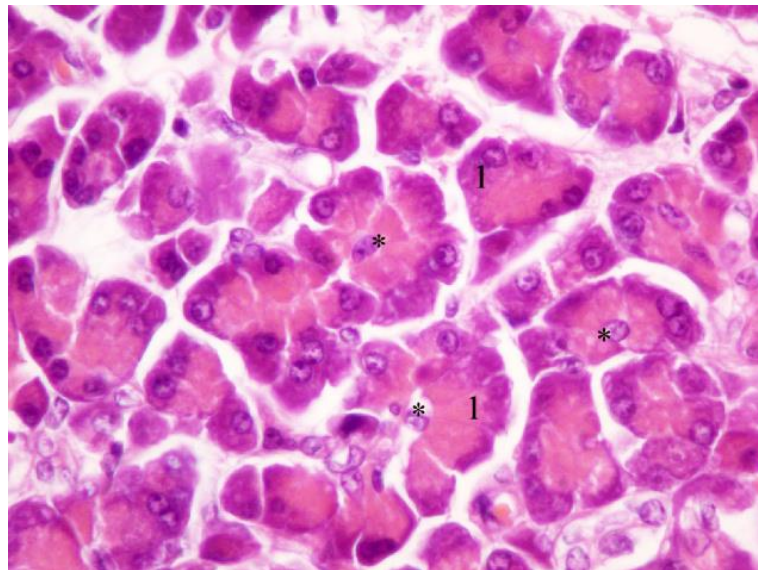
Nota. Se muestran las glándulas tubulares glomerulares (flecha), que son las glándulas sudoríparas palpebrales; algunos autores las denominan glándulas de Moll; glándula sacular (Gs), la glándula sebácea ciliar; algunos autores la llaman glándula de Zeiss; folículo piloso de la pestaña (Fp); tejido conectivo (Tc); vasos sanguíneos (*). Barra de 50 μm, H&E. Archivo del Laboratorio de Histología y Patología, Medicina Veterinaria, UNSAAC.

Figura 22. Glándula mamaria, adenómero alveolar



Nota. En la glándula mamaria se observan adenómeros alveolares; luz del alvéolo mamario (*); secreción apocrina (>); células mioepiteliales contráctiles (flecha); tejido conectivo (2). Tinción H&E (Gómez Sánchez et al., 2024).

Figura 23. Páncreas, adenómero acinar



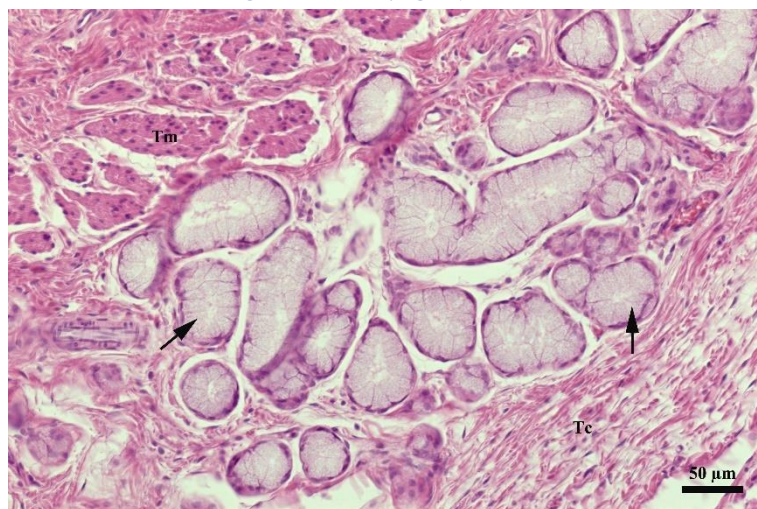
Nota. En el páncreas se pueden apreciar los adenómeros acinares; células acinares (1); células centroacinares (*). Tinción H&E (Gómez Sánchez et al., 2024).

▪ Glándulas según el tipo de secreción

Las glándulas exocrinas se clasifican según el tipo de secreción que producen, lo que determina su función específica. Por ejemplo:

- Glándulas mucosas: Secretan mucina (glucosaminoglicanos y glicoproteínas) para lubricar y proteger superficies internas, como en las glándulas caliciformes del intestino, glándulas mucosas del esófago en el perro (Bacha & Bacha, 2012) (Figura 24).

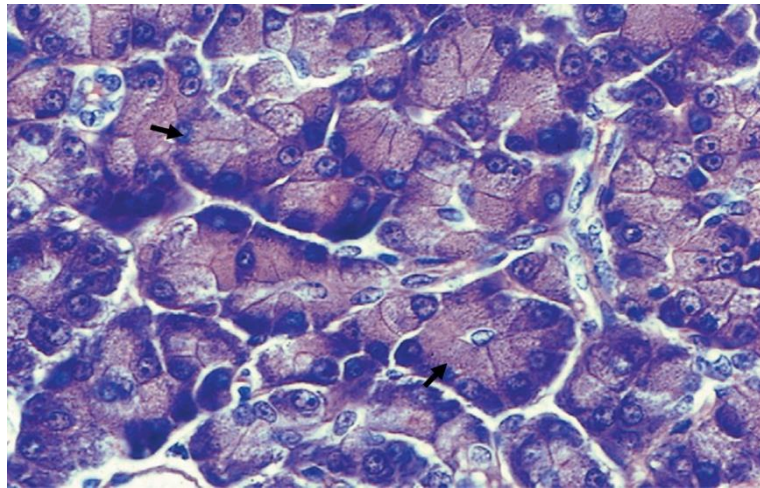
Figura 24. Esófago (perro)



Nota. Se muestran las glándulas mucosas (flecha) a nivel de la submucosa, así como el tejido conectivo (Tc) y el tejido muscular (Tm). Barra: 50 µm. H&E. Archivo del Laboratorio de Histología y Patología, Medicina Veterinaria, UNSAAC.

- Glándulas serosas: Liberan fluidos ricos en enzimas (p. ej., amilasa salival) para procesos como la digestión, como ocurre en las glándulas salivales parótidas y en las glándulas acinares del páncreas (Figura 25).

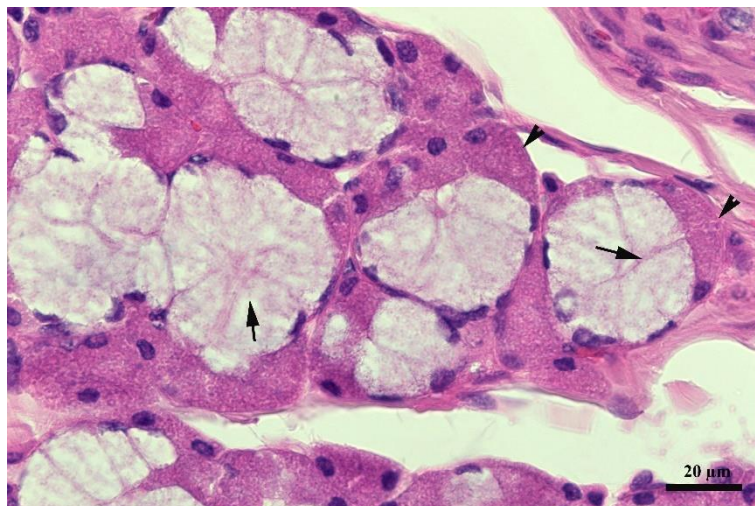
Figura 25. Páncreas (perro)



Nota. Detalle de los acinos y de los conductos intercalados. Obsérvense las regiones apicales acidófilas y las regiones basales basófilas de las células acinares serosas (Bacha & Bacha, 2012).

- Glándulas mixtas: Combinan secreciones mucosas y serosas, como las glándulas sublinguales (Figura 26). Las células mucosas se ubican en la parte central, mientras las células serosas se ubican alrededor en forma de una semiluna (Bacha & Bacha, 2012; Megías et al., 2020c).

Figura 26. Glándula salival sublingual (llama)



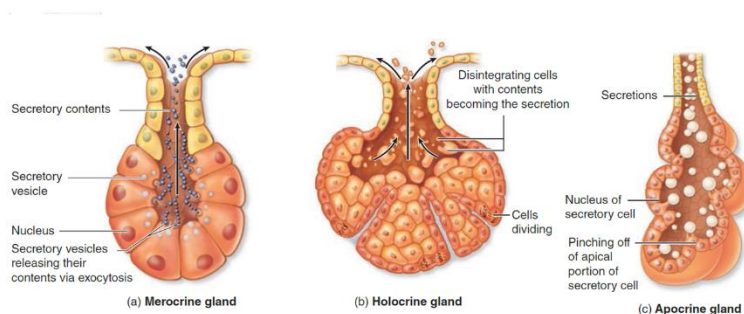
Nota. Se muestran las glándulas acinares mixtas, el acino mucoso (flecha) y las células serosas en forma de semiluna (cabeza de flecha). Barra: 20 μ m. H&E. Archivo del Laboratorio de Histología y Patología, Medicina Veterinaria, UNSAAC.

■ Glándulas según la forma de secreción

Las células glandulares emplean tres mecanismos para liberar sus productos (Figura 27):

- Merocrino: El producto se libera mediante exocitosis de gránulos de secreción, sin dañar la célula (ej. páncreas exocrino) (Junqueira & Carneiro, 2015).
- Apocrino: Se elimina el producto junto con una parte del citoplasma apical. Este método es típico de glándulas sudoríparas apocrinas (en animales domésticos) y algunas células de las glándulas mamarias (Banks, 1996).
- Holocrino: La célula se destruye por completo para liberar su contenido, como en las glándulas sebáceas de la piel, glándulas tarsales ubicadas en el ojo (Junqueira & Carneiro, 2015; Samuelson, 2007).

Figura 27. Esquema de la forma de secreción de las glándulas



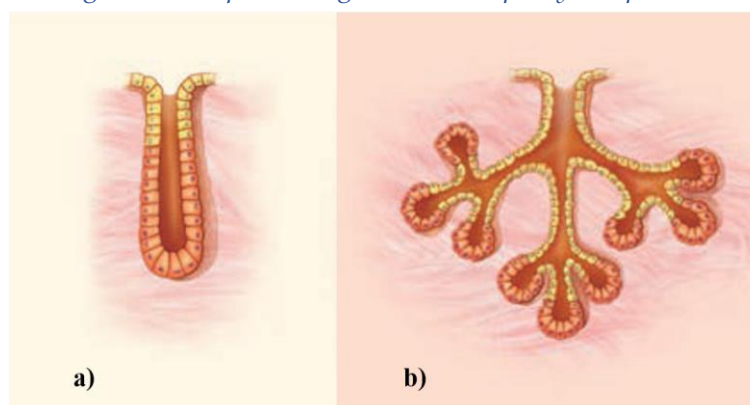
Nota. a) secreción merocrina (p. ej., glándula salival); b) secreción holocrina (p. ej., glándula sebácea, glándula de Meibomio); c) secreción apocrina (p. ej., glándula mamaria) (Mescher, 2023).

■ Glándulas simples y compuestas

Las glándulas exocrinas se dividen en dos categorías según su arquitectura ductal (Figura 28):

- Glándulas simples: Poseen un conducto único y no ramificado. Ejemplos incluyen las glándulas intestinales (tubulares rectas) y las glándulas sudoríparas ecrinas (tubulares glomerulares).
- Glándulas compuestas: Presentan conductos ramificados y adenómeros complejos. Ejemplos destacados son las glándulas túbulo-alveolares (glándulas de la tráquea) y las glándulas tubuloacinares (glándulas del páncreas exocrino).

Figura 28. Esquema de glándulas simples y compuestas



Nota. Las simples (a) presentan un conducto y un adenómero; las compuestas (b) pueden tener varios conductos y adenómeros. (Mescher, 2023).

Tabla 4. Clasificación morfológica de glándulas

Tipo de glándulas	Forma de los conductos	Forma de las unidades secretoras	Productos de secreción	Ubicaciones principales
Glándulas unicelulares (Compuestas por células individuales)				
Células caliciformes	Sin conductos; productos liberados directamente sobre la superficie epitelial	Célula única en forma de copa	Moco (glicoproteína y agua)	Epitelio de vías respiratorias y digestivas
Glándulas multicelulares (Compuestas por múltiples células secretoras)				
Glándulas tubulares simples	Sin conductos	Túbulos rectos simples	Moco (glicoproteína y agua)	Intestino delgado y grueso
Glándulas tubulares ramificadas simples	Sin conductos	Dos o más túbulos ramificados	Moco (glicoproteína y agua)	Estómago (glándulas pilóricas)

Glándulas tubulares enrolladas simples	Conductos largos no ramificados	Túbulos enrollados	Fluido acuoso (sudor)	Glándulas sudoríparas en la piel
Glándulas acinares simples	Conductos cortos no ramificados	Acinos no ramificados	Moco (glicoproteína y agua)	Glándulas de Littre en la submucosa de la uretra masculina
Glándulas acinares ramificadas simples	Conductos cortos no ramificados	Acinos ramificados	Sebo (mezcla de lípidos y restos de células lipídicas-productoras muertas)	Glándulas sebáceas de la piel
Glándulas tubulares compuestas	Conductos ramificados	Túbulos ramificados	Moco (glicoproteína y agua)	Glándulas de Brunner del duodeno
Glándulas acinares compuestas	Conductos ramificados	Acinos ramificados	Fluido proteico acuoso	Glándula lagrimal en la órbita, páncreas y glándulas mamarias
Glándulas tubuloacinares compuestas	Conductos ramificados	Túbulos y acinos ramificados	Fluido proteico acuoso y moco (glicoproteína y agua)	Glándulas submandibulares y sublinguales en la cavidad oral

Sección 2

Tejido conectivo

El tejido conectivo es uno de los cuatro tejidos básicos del organismo animal, junto con el epitelial, el muscular y el nervioso. A diferencia de los otros tejidos, se caracteriza por estar formado por células (fijas y transitorias) dispersas inmersas en una abundante matriz extracelular, compuesta por fibras proteicas (colágeno, elastina y reticulina) y una sustancia fundamental amorfa (Banks, 1996; Brüel et al., 2012). Esta estructura única le confiere funciones esenciales como soporte estructural, protección, almacenamiento de energía, transporte de nutrientes y reparación tisular.

A lo largo de la evolución, el tejido conectivo ha desarrollado una gran diversidad de tipos, cada uno adaptado a funciones específicas. Desde el tejido conectivo laxo, que rellena los espacios entre órganos y proporciona flexibilidad, hasta el tejido óseo, que forma estructuras rígidas para proteger y sostener el cuerpo, su versatilidad lo hace indispensable en múltiples sistemas. Además, incluye variantes especializadas como el tejido adiposo (reserva de insumos energéticos y aislamiento térmico), el tejido cartilaginoso (amortiguación de impactos) y el tejido hematopoyético (producción de células sanguíneas).

Otra característica clave del tejido conectivo es su origen embriológico: proviene del mesénquima, un tejido primitivo que da lugar a múltiples estructuras durante el desarrollo. Sus células, como los fibroblastos, adipocitos y osteoblastos, tienen una alta capacidad de proliferación y de síntesis de la matriz extracelular, lo que permite la cicatrización de heridas y la regeneración tisular. Para su estudio es necesario entender los componentes del tejido conectivo para luego estudiarlos cada uno según la clasificación en: tejidos conectivos embrionarios, tejidos conectivos propiamente dichos y tejidos conectivos especializados.

a. Matriz extracelular

La matriz extracelular (MEC) es el componente fundamental del tejido conectivo, responsable de su estructura, resistencia y función biológica. A diferencia de otros tejidos, donde las células predominan, en el tejido conectivo la MEC es la protagonista, actuando como un andamio dinámico que no solo brinda soporte mecánico, sino que también participa en la comunicación celular, la migración de

células y la regulación de procesos como la inflamación y la reparación tisular (Cui, 2011).

Esta matriz está compuesta por una compleja red de macromoléculas que incluye fibras (colágenas, elásticas y reticulares) y la sustancia fundamental. La composición y la organización de la MEC varían según el tipo de tejido conectivo, adaptándose a sus necesidades específicas. Por ejemplo, en el hueso la MEC está mineralizada para conferir rigidez, mientras que en el tejido conectivo laxo es más flexible y abundante en sustancias fundamentales. Además, la MEC no es una estructura estática: se remodela constantemente gracias a la acción de enzimas como las metaloproteinasas, que degradan y renuevan sus componentes en procesos fisiológicos y patológicos (Pawlina & Ross, 2020).

▪ **Fibras del tejido conectivo**

Las fibras del tejido conectivo son componentes esenciales de la MEC, responsables de proporcionar resistencia mecánica, elasticidad y organización estructural a los tejidos. Estas fibras se producen principalmente por células como fibroblastos, condroblastos y osteoblastos, según el tipo de tejido conectivo. Se clasifican en tres tipos principales: fibras de colágeno, fibras elásticas y fibras reticulares, cada una con composición, estructura y función específica (Banks, 1996) (véase Tabla 5).

▪ **Fibras de colágeno**

Están formadas por la proteína colágeno, la más abundante del cuerpo, que representa ~30% de las proteínas totales. Así ves, el colágeno está compuesto por polímeros de tropocolágeno (triple hélice de cadenas de aminoácidos, principalmente glicina, prolina e hidroxiprolina) producidos por los fibroblastos. Estas fibras poseen alta resistencia a la tensión, pero poca elasticidad. Existen diferentes tipos de fibras colágenas (más de 20 tipos) entre ellas tenemos al:

- Colágeno tipo I: mayoritario en hueso, tendones, dermis y tejido conectivo denso.
- Colágeno tipo II: Presente en cartílago hialino y elástico.
- Colágeno tipo III: principal componente de las fibras reticulares.
- Colágeno tipo IV: forma redes en las láminas basales.

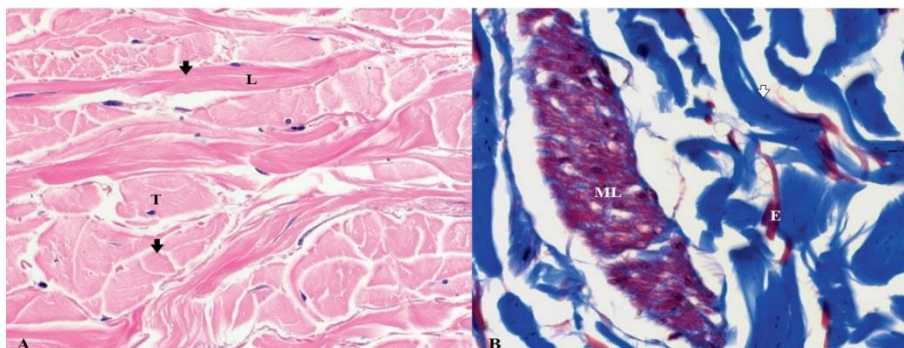
Su función es brindar resistencia mecánica a la tracción y a la deformación. Contribuir a la integridad estructural de los órganos y tejidos. Participar en la cicatrización (formación de cicatrices fibrosas).

En los preparados teñidos con hematoxilina-eosina, las fibras colágenas se tiñen de rosa claro con eosina, mientras que, con los métodos tricrómicos de Masson y Mallory (Figura 29), adquieren un color azul intenso, y con el método de Van Gieson y de rojo sirio (Brüel et al., 2012) se tiñen de rojo.

Tabla 5. Comparación entre los tipos de fibras

Tipo de fibra	Composición principal	Propiedades	Función principal	Localización típica
Colágeno	Colágeno tipo I, II, III	Resistencia a la tracción	Soporte estructural	Hueso, tendones, dermis, cartílago
Elásticas	Elastina + fibrilina	Alta elasticidad	Permitir estiramiento y retracción	Arterias, pulmones, piel elástica
Reticulares	Colágeno tipo III	Redes delgadas	Soporte de tejidos blandos	Bazo, hígado, ganglios linfáticos

Figura 29. Fibras de colágeno



Nota. Las flechas corresponden a la dermis de la piel, tinción H&E (A), con fibras de colágeno menos densas que discurren perpendicularmente entre sí (longitudinal (L) y transversal (T) para proporcionar resistencia en ambas direcciones). La imagen (B) muestra una tinción tricrómica de la piel; el colágeno se tiñe de azul, el músculo liso (ML) de rojo y las fibras de elastina (E) de rojo (Young et al., 2014).

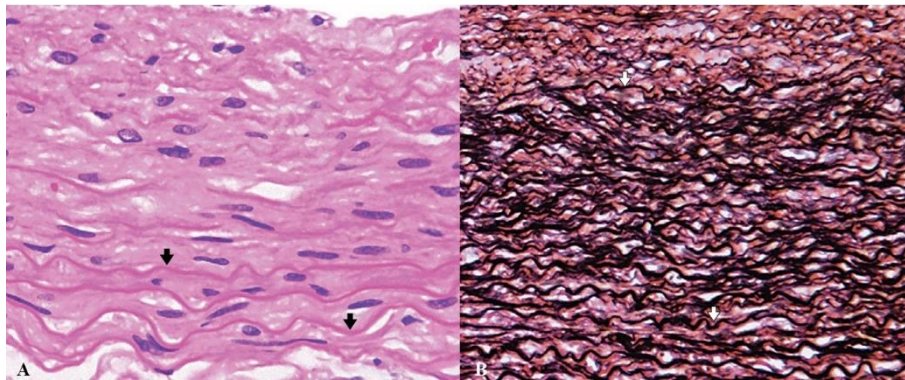
▪ **Fibras elásticas**

Son fibras enrolladas y ramificadas, de entre 0,2 y 0,5 micras de diámetro, que a veces forman redes laxas. Estas fibras pueden alargarse hasta un 150% de su longitud en reposo. Están formadas por microfibrillas de elastina y fibrilina, inmersas en una matriz amorfa de elastina (Gartner et al., 2007). La elasticidad de los vasos sanguíneos y de los pulmones depende de

las fibras elásticas normales. Las fibras elásticas dañadas contribuyen a la patogenia de la arterosclerosis y del enfisema pulmonar (Banks, 1996). Asimismo, las fibras elásticas, que se encuentran en el pabellón auricular, las cuerdas vocales, la epiglotis, el ligamento nugal, la dermis, la aorta y las arterias musculares, son una de las fibras de tejido conectivo más resistentes y resisten la maceración química y la autoclave (Eurell & Frappier, 2006).

En los cortes histológicos teñidos con H & E, las fibras elásticas más grandes de los ligamentos elásticos se distinguen fácilmente como hebras de color rosa claro, amorfas y altamente refráctiles; pueden teñirse con ciertos tintes selectivos, como orceína y resorcina-fucsina (Eurell & Frappier, 2006). La orceína le confiere un color marrón rojizo (Figura 30) y la resorcina-fucsina, un color azul negro (Brüel et al., 2012).

Figura 30. Fibras elásticas



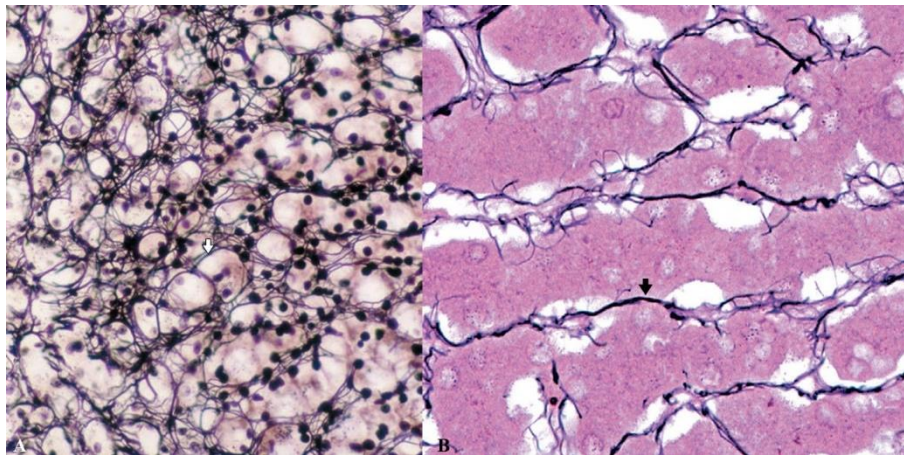
Nota. (A) Muestra la pared de una arteria elástica, compuesta principalmente por células musculares lisas alternadas y por láminas gruesas de elastina mezcladas con colágeno. (B) Muestra un corte histológico de una arteria elástica teñida específicamente con orceína para elastina; con este método, la elastina se tiñe de negro y el colágeno de rojo. Las propiedades funcionales de las arterias grandes están determinadas principalmente por la cantidad de elastina en sus paredes, lo que permite su estiramiento y retracción con la presión del pulso generada por el corazón (Young et al., 2014).

▪ Fibras reticulares

En las preparaciones histológicas de rutina, las fibras reticulares no pueden distinguirse de otras fibras pequeñas de colágeno. Estas fibras sólo pueden identificarse mediante determinadas impregnaciones de plata (de ahí el término fibras argirófilas o argentafinas) o con el reactivo de ácido peryódico de Schiff (PAS) (Figura 31). Estas fibras son, en realidad, fibrillas de colágeno tipo III individuales, recubiertas por proteoglicanos y glicoproteínas. Este recubrimiento aumenta la afinidad de las fibras por las sales de plata. Cuando

las fibras reticulares individuales se agrupan para formar fibras de colágeno, el revestimiento se supuestamente desplaza y la argirofilia disminuye. Las fibras reticulares forman redes delicadas y flexibles alrededor de capilares, fibras musculares, nervios, células adiposas y hepatocitos y sirven como un andamiaje para soportar células o grupos celulares de órganos endocrinos, linfáticos y hematopoyéticos. Son una parte integral de las membranas basales (Eurell & Frappier, 2006).

Figura 31. Fibras reticulares



Nota. (A) En la sección teñida con plata de la corteza adrenal, destacan redes de delicadas fibras reticulares negras. Estas fibras actúan como estroma de sostén en la mayoría de los órganos linfoides y hematopoyéticos, así como en muchas glándulas endocrinas (Junqueira & Carneiro, 2015). (B) muestra la fina estructura de reticulina del hígado; esta estructura sostiene los hepatocitos (las placas de células teñidas de púrpura) y los sinusoides por donde fluye la sangre (Young et al., 2014).

▪ Sustancia fundamental

La sustancia fundamental es un componente amorfo, gelatinoso y altamente hidratado de la MEC del tejido conectivo. Actúa como medio de transporte y como soporte metabólico para las células del tejido, además de participar en la organización estructural y en la defensa inmunológica. Sus características principales son:

- Consistencia gelatinosa: Forma un gel viscoso debido a su alto contenido de agua (70-80%), lo que facilita la difusión de nutrientes y metabolitos.
- Composición bioquímica: Glucosaminoglucanos (GAGs): Polisacáridos largos y cargados negativamente (p. ej., ácido hialurónico, condroitín sulfato). Proteoglicanos: moléculas formadas por GAGs unidos a un núcleo proteico (p. ej., el agregano

en el cartílago). Glicoproteínas: como la fibronectina y la laminina, que unen las células a la matriz.

- Propiedades físicas: resistencia a la compresión (debida a los proteoglicanos, que atraen agua). Carga negativa: Atrae cationes (Na^+ , K^+), lo que contribuye a la osmolaridad y a la turgencia tisular.
- Dinamismo: Se remodela constantemente por acción enzimática (p. ej., la hialuronidasa) y en respuesta a necesidades fisiológicas.

Glucosaminoglucanos (GAGs): largas cadenas no ramificadas de polisacáridos formadas por unidades de disacáridos repetidas. Se caracterizan por su alta densidad de cargas negativas, que atraen cationes (Na^+ , K^+) y agua, lo que provoca turgencia y resistencia a la compresión. Entre los principales GAG se encuentran el ácido hialurónico, el condroitín sulfato, el dermatán sulfato y el heparán sulfato.

Proteoglicanos: macromoléculas formadas por un núcleo proteico al que se unen covalentemente múltiples GAG. Estas estructuras adoptan la forma de un "cepillo de botella", en el que las cadenas de GAG se proyectan hacia el exterior. Los proteoglicanos pueden unirse a largas cadenas de ácido hialurónico formando grandes agregados, como el agregano en el cartílago, que confiere propiedades de amortiguación.

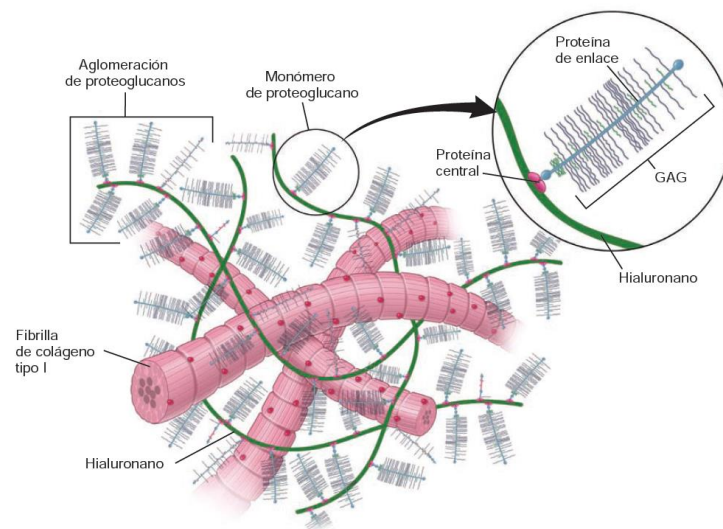
Glucoproteínas de adhesión: moléculas que median la unión entre las células y los componentes de la matriz extracelular. Las principales son la fibronectina (que une células a fibras de colágeno), la laminina (componente principal de las láminas basales) y la condronectina (específica del tejido cartilaginoso) (Figura 33).

Las funciones esenciales de estos elementos son:

- Soporte mecánico: Proporciona resistencia a la compresión en tejidos como el cartílago
- Intercambio metabólico: facilita la difusión de sustancias entre capilares y células
- Lubricación: Reduce la fricción en articulaciones y entre tejidos
- Barrera de filtración: Regula el paso de macromoléculas y patógenos
- Migración celular: Guía el movimiento de células durante el desarrollo y la reparación tisular

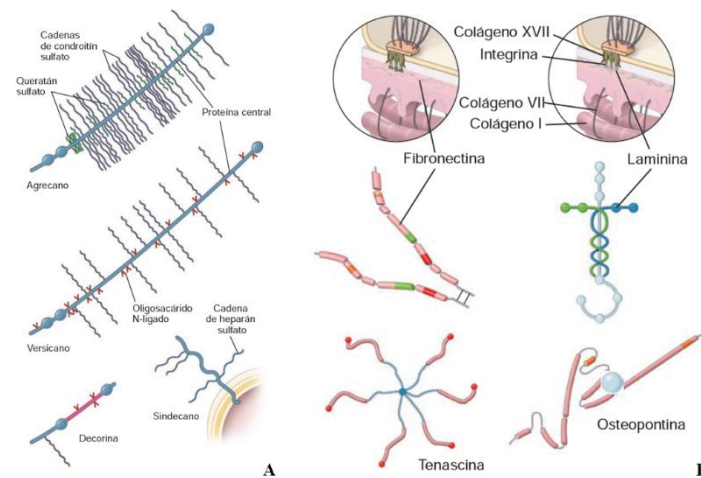
La composición de la sustancia fundamental es dinámica y sujeta a remodelación continua. Las células del tejido conectivo, como los fibroblastos y los condrocitos, sintetizan sus componentes, mientras que enzimas como las metaloproteinasas y las hialuronidasas participan en su degradación. Este equilibrio es crucial para procesos fisiológicos como la cicatrización de heridas y la regeneración tisular.

Figura 32. Estructura de proteoglucano



Nota. El esquema ilustra la organización molecular de la sustancia fundamental del cartilago. A la derecha, se observa un monómero de proteoglucano, formado por una proteína central a la que se unen cadenas de glucosaminoglucanos (GAGs) mediante enlaces covalentes. Este monómero se fija al hialuronano (ácido hialurónico) mediante una proteína de enlace, formando un agregado de proteoglucanos. A la izquierda, múltiples monómeros unidos a largas cadenas de hialuronano crean grandes aglomeraciones, las cuales se entrelazan con una red de fibrillas de colágeno para constituir la matriz extracelular del tejido cartilaginoso (Pawlina & Ross, 2020).

Figura 33. Glucosaminoglucanos y glucoproteínas de adhesión



Nota. (A) Se observa en el esquema cómo los GAG forman parte de los proteoglucanos. (B) Las glucoproteínas de adhesión están presentes en la matriz extracelular y son importantes para estabilizarla y vincularla a la superficie celular. Se trata de moléculas multifuncionales de distintas formas que poseen diversos sitios de unión para una gran variedad de proteínas de la matriz

extracelular como colágenos, proteoglucanos y GAG. Obsérvese que las proteínas multiadhesivas interactúan con receptores de la membrana basal, como los de integrina y de laminina (Pawlina & Ross, 2020)

b. Células del tejido conectivo

El tejido conectivo es un tejido diverso que proporciona soporte estructural, metabólico e inmunológico al organismo. Sus células se clasifican en células fijas (residentes permanentes) y transitorias (migratorias, relacionadas con respuestas inflamatorias o inmunitarias). Cada célula tiene un origen, una función y una relevancia fisiológica (véase la Tabla 6).

▪ Células fijas

Son poblaciones celulares estables, encargadas de mantener la matriz extracelular y la homeostasis del tejido.

- **Fibroblastos:** tienen origen mesenquimal. Su función es sintetizar colágeno, elastina y glucosaminoglucanos (MEC). Además, participan en la cicatrización (transformándose en miofibroblastos). Sus características principales son una forma fusiforme y un núcleo ovalado. En estado inactivo se llaman fibrocitos (menor síntesis de MEC).

- **Adipocitos**

Los adipocitos se originan a partir de células mesenquimales (diferenciación hacia adipocitos uniloculares o multiloculares). Poseen la función de almacenar lípidos (para obtener energía y aislamiento térmico). Por otra parte, secretar hormonas (leptina, adiponectina). Existen dos tipos de adipocitos: los uniloculares, caracterizados por una gran gota lipídica (adiposo blanco). Los multiloculares presentan múltiples gotas pequeñas (adiposo pardo; genera calor).

- **Células mesenquimales**

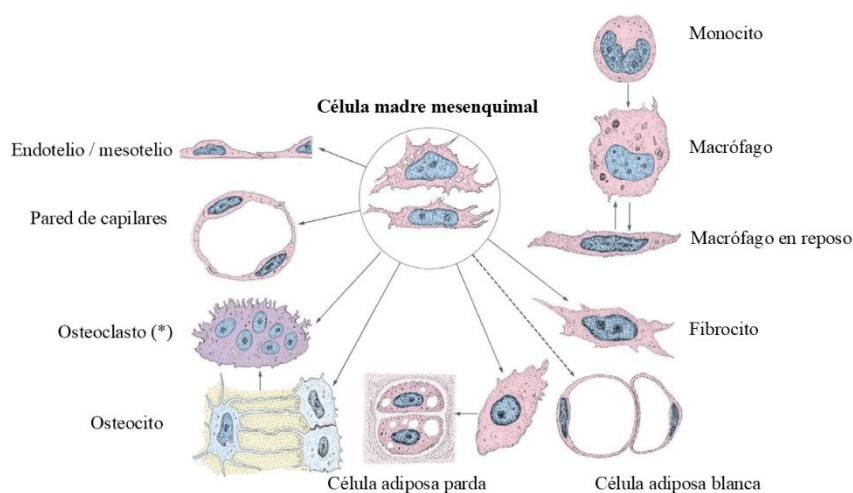
Las células mesenquimales se originan en el mesodermo y son células madre multipotenciales capaces de diferenciarse en varios tipos celulares, incluidos los óseos, cartilaginosos y grasos. Son células del estroma presentes en diversos tejidos, como la médula ósea, el tejido adiposo y el cordón umbilical. Estas células son de interés en medicina regenerativa por su capacidad de

autorrenovación y su potencial para reparar o reemplazar tejidos dañados. Las células mesenquimales presentan una morfología irregular con prolongaciones citoplasmáticas, núcleo ovalado de cromatina fina y nucléolo prominente (Brüel et al., 2012).

- **Pericitos**

Estas células tienen origen mesenquimal. En general, los pericitos están involucrados en la preservación de la reología vascular y la homeostasis, incluyendo la regulación del flujo sanguíneo, la angiogénesis, la estabilización estructural de la vasculatura y la permeabilidad vascular (Enge, 2002; Hellström et al., 2001). En el sistema nervioso central (SNC) y la retina, la proporción de pericitos a células endoteliales (CE) es de 1:1, formando la llamada barrera hematoencefálica (BHE) y barrera hematorretiniana (BRB) (Shepro & Morel, 1993). Igualmente tienen funciones importantes en el glomérulo renal, médula ósea e hígado (Ferland-McCollough et al., 2017).

Figura 34. Célula mesenquimal



Nota. Diferenciación de células a partir de la célula mesenquimal (esquema). (*) Mediante la fusión de células precursoras mononucleares de la línea granulocito-monocítica (Liebich, 2019).

- **Células transitorias**

Son células que ingresan al tejido conectivo desde la sangre en respuesta a estímulos como la inflamación o la infección.

- **Macrófagos**

El origen de los macrófagos es el monocito sanguíneo, que se diferencia en tejidos. Su función es fagocitar patógenos, restos celulares y partículas extrañas. Asimismo, presentar antígenos a los linfocitos (inmunidad adaptativa). Existen variantes de macrófagos según el órgano en el que se ubiquen; así, se encuentran las células de Kupffer (hígado), las microglías (SNC) y los osteoclastos (hueso).

- **Mastocitos**

Los mastocitos maduros derivan de progenitores agranulares de la médula ósea que migran al tejido conectivo. También se les denomina células cebadas; son células ovaladas de 10–30 µm, con citoplasma repleto de gránulos metacromáticos que contienen heparina (glucosaminoglucano sulfatado) y histamina. Estos gránulos, visibles con tinción con azul de toluidina, liberan mediadores inflamatorios (histamina, heparina, factores quimiotácticos) mediante exocitosis tras su activación por alérgenos u otros estímulos. La histamina induce vasodilatación y aumento de la permeabilidad vascular, mientras que la heparina actúa como anticoagulante (Brüel et al., 2012; Sorenson & Brelje, 2014).

- **Linfocitos**

Los linfocitos tienen su origen tanto en la médula ósea como en los órganos linfoides. Su función está relacionada con la inmunidad específica (linfocitos B: anticuerpos; linfocitos T: respuesta celular). Se localizan en los linfonodos, bazo, tejido conectivo de mucosas (MALT= tejido linfoide asociado a mucosas) (Junqueira & Carneiro, 2015; Tizard, 2009).

- **Neutrófilos**

Los neutrófilos tienen su origen en la médula ósea. La función que desempeñan radica en la defensa antibacteriana, mediante la fagocitosis y las trampas extracelulares de ADN/NETs. Poseen una vida media corta (de horas a días en tejidos).

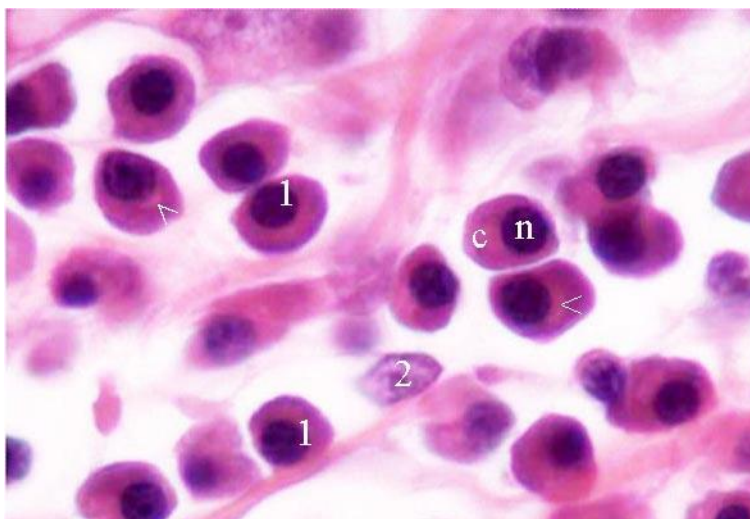
- **Eosinófilos**

Al igual que los neutrófilos, también se originan en la médula ósea. Su función es combatir infecciones parasitarias (liberan proteínas citotóxicas); además, modulan las reacciones alérgicas.

- **Células plasmáticas**

Las células plasmáticas, derivadas de linfocitos B activados, son células ovaladas (10–20 μm) con núcleo excéntrico y cromatina en «rueda de carro». Su citoplasma basófilo muestra un área perinuclear clara correspondiente al aparato de Golgi, esencial para la síntesis y la secreción de inmunoglobulinas (anticuerpos). Abundan en tejidos linfoides (ganglios linfáticos, médula ósea) y mucosas (tracto digestivo, respiratorio), siendo pilares de la inmunidad humoral adaptativa (Allen & Sharma, 2022; Brüel et al., 2012; Eurell & Frappier, 2006).

Figura 35. Células plasmáticas



Nota. Son células redondeadas (1) u ovaladas, con citoplasma (c) basófilo (debido a un elevado contenido de retículo endoplásmico rugoso -RER-) y núcleos (n) con gran cantidad de cromatina muy densificada. En las proximidades del núcleo se observa una zona poco coloreada que corresponde al complejo de Golgi (<). En las células con citoplasma acidófilo no se evidencia. Núcleo poco cromático o vesiculoso (2). H&E. (Gómez Sánchez et al., 2024).

Tabla 6. Células del tejido conectivo

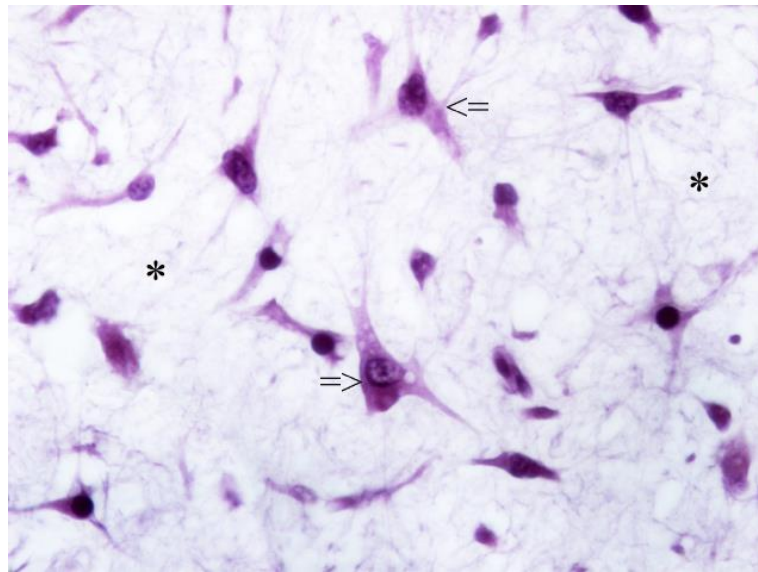
Tipo celular	Origen	Función principal	Localización típica
Fibroblastos	Mesénquima	Síntesis de MEC	TC laxo, denso
Adipocitos	Mesénquima	Reserva energética, secreción hormonal	TC adiposo
Macrófagos	Monocitos sanguíneos	Fagocitosis, inmunidad innata	Hígado, pulmón, SNC
Mastocitos	Progenitores hematopoyéticos	Inflamación, alergias	Piel, mucosas
Neutrófilos	Médula ósea	Defensa antibacteriana	Sangre, tejidos inflamados
Células plasmáticas	Linfocitos B	Producción de anticuerpos	Médula ósea, ganglios linfáticos

c. Tejido conectivo embrionario

- **Tejido embrionario mesenquimático**

Este tejido, derivado del mesodermo, es fundamental en el desarrollo embrionario y se encuentra tanto en el embrión como en el cordón umbilical. Está formado por células mesenquimales irregulares interconectadas en una red tridimensional, rodeadas de una abundante sustancia amorfa, fundamentalmente sin fibras, en etapas tempranas (Figura 36). Estas células proliferan activamente mediante divisiones mitóticas y adaptan su forma y su ubicación durante el crecimiento embrionario, dando origen a tejidos conectivos adultos, sangre y vasos sanguíneos (Eurell & Frappier, 2006).

Figura 36. Pulpa dentaria de feto (cabra)

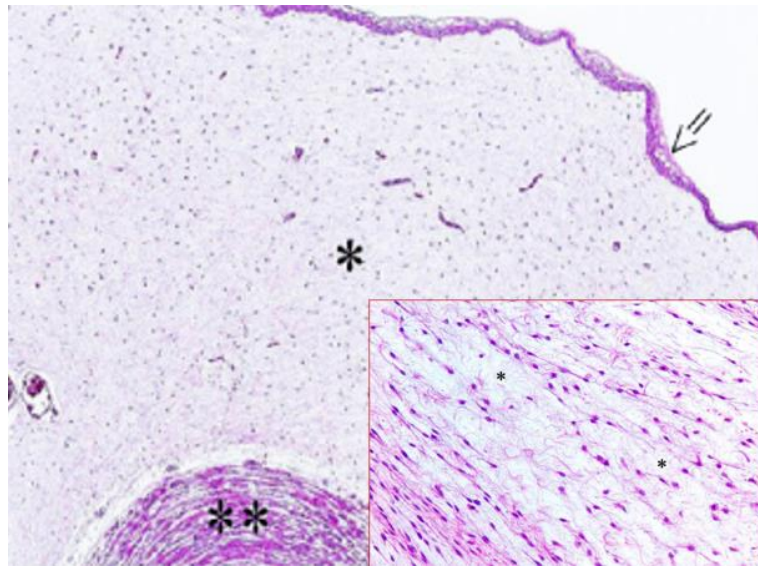


Nota. Tejido mesenquimatoso formado por células mesenquimatosas con citoplasma basófilo y prolongaciones citoplasmáticas que le dan un aspecto estrellado (flecha). Los núcleos son ovalados, con cromatina finamente granular y un nucléolo evidente. La sustancia fundamental amorfa (*) predomina sobre la configurada (fibras), lo que le confiere basofilia (Gómez Sánchez et al., 2024).

▪ Tejido embrionario mucoso

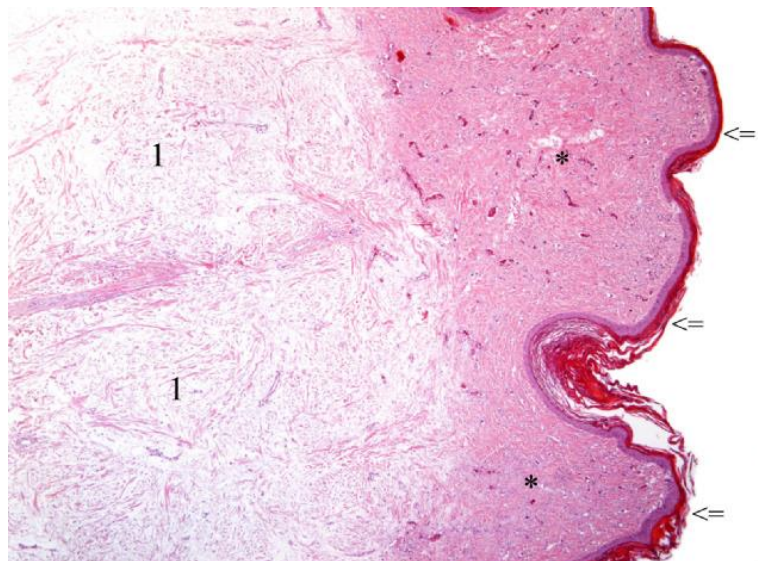
También llamado tejido conectivo gelatinoso areolar, es un componente clave del cordón umbilical (gelatina de Wharton) y se encuentra en la hipodermis embrionaria (Figuras 37 y 38). En el organismo adulto, persiste en estructuras como las papilas de los pliegues reticulares, la lámina omasal y el glande del pene bovino. Se caracteriza por fibroblastos estrellados que forman una red embebida en una sustancia fundamental gelatinosa rica en glucosaminoglicanos y fibrillas de colágeno (Dellmann, 1994; Junqueira & Carneiro, 2015).

Figura 37. Cordón umbilical (cabra)



Nota. Tejido conectivo mucoso. Está constituido por células mesenquimatosas, escasas fibras de colágeno y abundante sustancia fundamental amorfa, basófila (*), que se ve mejor en el recuadro a mayor aumento. Epitelio amniótico (flecha). Arteria umbilical (**) (Gómez Sánchez et al., 2024).

Figura 38. Cresta (gallo)



Nota. Tejido mucoso (1). Presenta escasos fibroblastos y fibras de colágeno en haces, y abundante sustancia amorfa fundamental. En el adulto se presenta en algunas especies y en lugares muy concretos. Tejido conectivo denso, fibroso e no modelado (*). Epitelio estratificado plano queratinizado (flechas) (Gómez Sánchez et al., 2024).

d. Tejido conectivo propiamente dicho

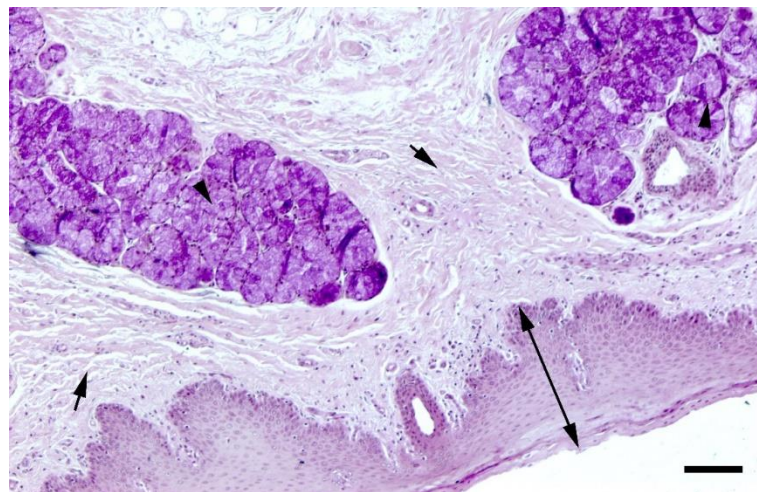
- **Tejido conectivo laxo**

El tejido conectivo laxo se caracteriza por su alta celularidad, su blandura y su capacidad de deformación bajo presión. Presenta una matriz extracelular abundante, con fibras colágenas delgadas y dispersas, y una

sustancia gelatinosa fundamental que facilita la difusión de oxígeno y nutrientes. Este tejido, de amplia distribución, actúa como un sistema de soporte generalizado bajo epitelios (p. ej., piel, mucosas), alrededor de vasos sanguíneos pequeños y en glándulas. Además, es crucial en la respuesta inmunitaria, siendo el primer sitio donde las células defensivas (macrófagos, linfocitos) neutralizan patógenos que atraviesan las barreras epiteliales (Brüel et al., 2012; Pawlina & Ross, 2020).

La mayoría de sus células son transitorias y migran desde los vasos sanguíneos en respuesta a estímulos inflamatorios o infecciosos. Por ejemplo, en la lámina propia de mucosas digestivas y respiratorias, la alta densidad de células inmunitarias refleja su exposición constante a antígenos (Pawlina & Ross, 2020). Durante procesos inflamatorios, este tejido se edematiza y activa mecanismos de reparación, destacando su papel dinámico en la homeostasis (Cui, 2011).

Figura 39. Base de la lengua (alpaca)



Nota. Se observa el tejido conectivo laxo compuesto por células, fibras colágenas y sustancia fundamental (flecha); por otra parte se aprecia el epitelio estratificado plano no queratinizado, que está ubicado en la base de la lengua (doble flecha); en la sección de la base de la lengua se pueden apreciar glándulas mucosas con una coloración fucsia debido al tipo de tinción (punta de flecha). Barra 100 µm Tinción PAS. Archivo del Laboratorio de Histología y Patología, Medicina Veterinaria UNSAAC

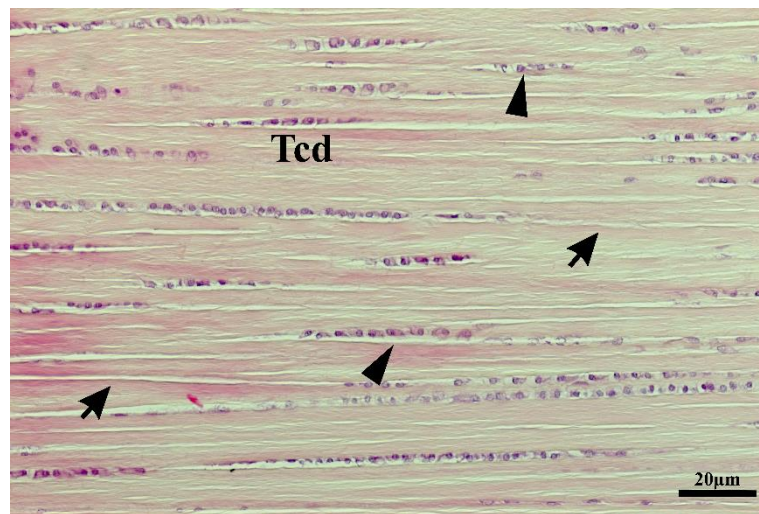
▪ Tejido conectivo denso

El tejido conectivo denso se distingue por su predominio de fibras colágenas y por una menor proporción de células y de sustancia fundamental. Se clasifica en dos subtipos: (1) tejido conectivo denso

irregular: fibras colágenas organizadas en redes tridimensionales que aportan resistencia multidireccional. Se localiza en la dermis y en las cápsulas de los órganos (hígado, riñón). (2) Tejido conectivo denso regular: fibras colágenas alineadas en paralelo para soportar fuerzas unidireccionales (Figura 40). Localización: tendones (unión músculo-hueso) y ligamentos (unión hueso-hueso) (Pawlina, 2016).

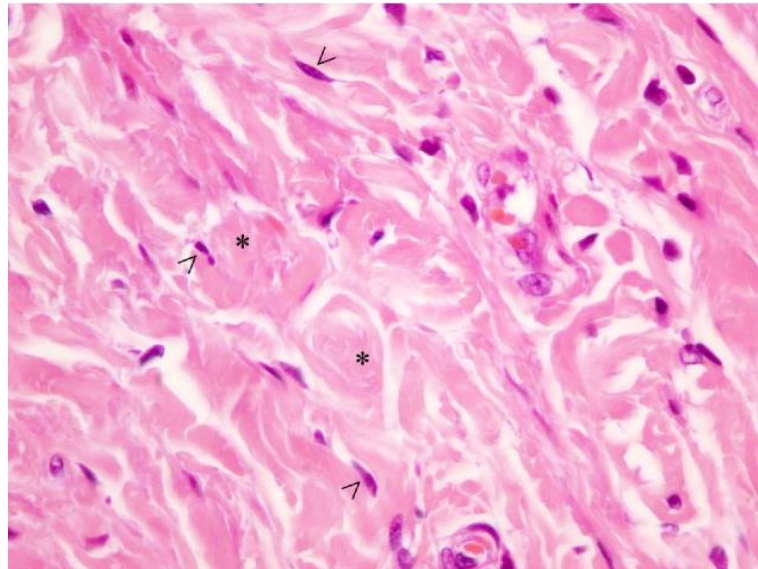
Mientras el tejido denso irregular protege los órganos de tensiones variables, el tejido regular optimiza la transmisión de fuerzas mecánicas en estructuras sometidas a tracción constante (Figura 41).

Figura 40. Tendón (gallo)



Nota. Se observa un tejido conectivo denso regular (Tcd); fibroblastos (punta de flecha); fibras colágenas (flecha). Ambas, tanto los fibroblastos como las fibras colágenas, están alineados ordenadamente; por ello, este tejido también se denomina tejido conectivo denso modelado. Barra: 20 μm. H&E. Archivo del Laboratorio de Histología y Patología, Medicina Veterinaria, UNSAAC.

Figura 41. Dermis



Nota. Se observa el tejido conectivo denso, fibroso e irregular (no modelado). Hay un predominio de fibras colágenas como la sustancia fundamental configurada. Las fibras colágenas se disponen de manera irregular a modo de haces entrecruzados (*) de manera irregular. Se encuentra en la dermis superficial, la cápsula de órganos, las articulaciones, el pericardio, el pericondrio y el periostio. Fibrocitos (>). Dermis. H&E (Gómez Sánchez et al., 2024).

e. Tejido conectivo especializado

El tejido conectivo especializado engloba un conjunto de tejidos con funciones específicas y diferenciadas que se destacan frente a los tejidos conectivos convencionales. Estos incluyen el tejido adiposo, cartilaginoso, óseo, linfoide (reticular) y la sangre, cada uno de los cuales cumple roles únicos en el organismo.

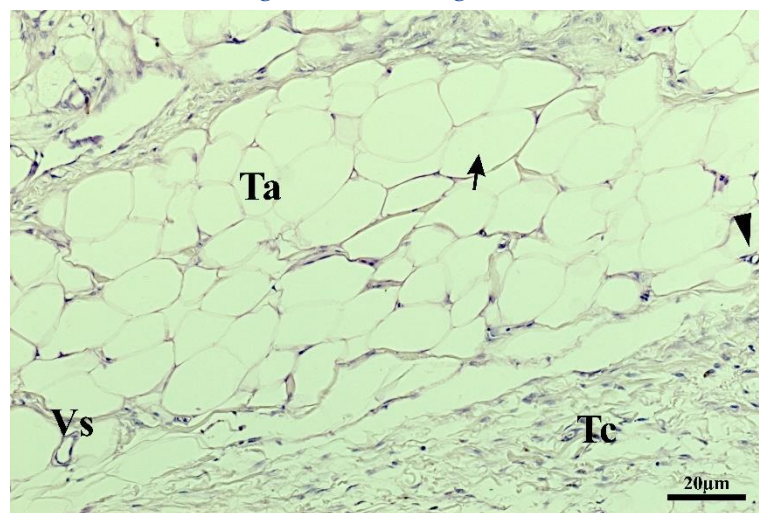
▪ Tejido adiposo

El tejido adiposo, clasificado como un tejido conectivo especializado, se origina de células mesenquimales derivadas del mesodermo y se caracteriza por su función principal de almacenamiento de lípidos, con una matriz extracelular escasa (Aughey & Frye, 2001; Junqueira & Carneiro, 2015). Este tejido está presente en todos los mamíferos y en algunas especies no mamíferas, y su función radica en los adipocitos, células únicas que acumulan triglicéridos en forma de gotas lipídicas.

El **tejido adiposo blanco** (unilocular) está compuesto por adipocitos con una única gota lipídica grande, que desplaza el núcleo hacia la periferia celular (Figura 42). Se localiza principalmente en la hipodermis (panículo adiposo), donde actúa como reserva energética y aislante térmico, gracias a

su baja conductividad térmica (aproximadamente la mitad que el músculo esquelético) (Pawlina, 2016). Además de almacenar energía, este tejido secreta adipocinas, como la leptina, una hormona clave en la regulación de la homeostasis energética. La leptina, producida exclusivamente por los adipocitos, suprime el apetito, aumenta el gasto calórico y modula procesos como la angiogénesis y la respuesta inmunitaria (Ross & Pawlina, 2011). En adultos humanos, representa entre el 20% y el 25% del peso corporal y su disfunción se asocia con obesidad, resistencia a la insulina y síndrome metabólico.

Figura 42. Grasa (gallo)



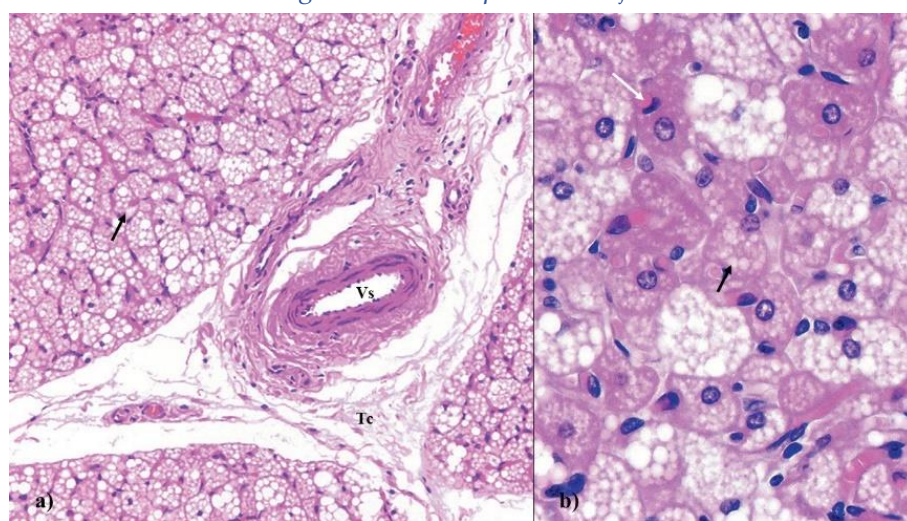
Nota. Se observa un tejido adiposo blanco (unilocular) (Ta); células adiposas uniloculares con el núcleo exentico (flecha); vasos sanguíneos (Vs); capilares sanguíneos (punta de flecha); tejido conectivo laxo (Tc). Barra: 20 μ m. H&E. Archivo del Laboratorio de Histología y Patología, Medicina Veterinaria, UNSAAC.

En contraste, el **tejido adiposo pardo** (multilocular) contiene células con múltiples gotas lipídicas pequeñas y un núcleo central, así como una alta densidad de mitocondrias ricas en citocromo oxidasa (Figura 43). Predomina en neonatos y en mamíferos hibernantes, localizándose en regiones como el cuello, axilas, mediastino y alrededor de los riñones (Dellmann, 1994; Pawlina & Ross, 2020). Su función principal es la termogénesis sin escalofríos, mediada por la proteína desacoplante UCP1, que disipa energía en forma de calor en lugar de producir ATP. Este proceso es activado por norepinefrina, liberada por el sistema nervioso simpático, y es crucial para prevenir la hipotermia en recién nacidos y durante la

aclimatación al frío (Cannon & Nedergaard, 2004). En adultos, aunque su cantidad disminuye, puede reactivarse ante estímulos como la exposición al frío.

Ambos tipos de tejido adiposo destacan por su plasticidad fisiológica. Mientras el blanco regula el metabolismo mediante señales endocrinas, el pardo adapta su actividad termogénica a las demandas ambientales. Su estudio no solo revela mecanismos clave del balance energético, sino también implicaciones clínicas en enfermedades metabólicas y estrategias terapéuticas emergentes.

Figura 43. Grasa parda (conejo)



Nota. a) El tejido adiposo pardo se organiza en lóbulos, los cuales están separados por tabiques fibrosos que transportan vasos sanguíneos (Vs) y fibras nerviosas simpáticas. b) A mayor aumento, se observa que los núcleos de los adipocitos pardos se ubican excéntricamente en la célula. Sin embargo, a diferencia de los adipocitos blancos, los núcleos son grandes y están rodeados de una cantidad significativa de citoplasma fuertemente eosinófilo. El lípido almacenado se encuentra en múltiples gotitas, todas disueltas durante el procesamiento tisular. Células adiposas pardas (flecha negra); capilares sanguíneos (flecha blanca) (Young et al., 2014).

▪ Tejido cartilaginoso

El cartílago es un tejido avascular compuesto por condrocitos y una matriz extracelular abundante (más del 95% de su volumen), que le confiere solidez, firmeza y flexibilidad. Los condrocitos, aunque escasos, son esenciales para sintetizar y mantener esta matriz, cuya composición rica en glucosaminoglicanos (GAG) y colágeno tipo II facilita la difusión de nutrientes desde los tejidos circundantes, asegurando la supervivencia

celular (Pawlina & Ross, 2020; Pawlina, 2016). En el tejido cartilaginoso existen tres tipos de células (véase Tabla 7):

Células del tejido cartilaginoso

Las células condrogénicas se localizan principalmente en el pericondrio, la capa de tejido conectivo que rodea al cartílago, excepto en el cartílago articular. Estas células son de naturaleza progenitora y conservan la capacidad de diferenciarse en condroblastos. Morfológicamente, son células pequeñas y fusiformes con un núcleo prominente y citoplasma basófilo, lo que refleja su alta actividad transcripcional. Su función principal es participar en el crecimiento por aposición del cartílago, mediante el cual se añade nueva matriz a la superficie del tejido existente.

Los condroblastos representan el siguiente estadio de diferenciación. Estas células se ubican en la zona inmediatamente inferior al pericondrio y son responsables de la síntesis activa de los componentes de la matriz extracelular. Producen colágeno tipo II, proteoglicanos (como el agregano) y glicosaminoglicanos, que confieren al cartílago sus propiedades de resistencia y elasticidad. Los condroblastos son células redondeadas con un citoplasma notablemente basófilo, debido a la abundancia de retículo endoplásmico rugoso y del aparato de Golgi. A medida que producen matriz, estas células quedan progresivamente encapsuladas en espacios llamados lagunas, momento en el que se diferencian en condrocitos.

Los condrocitos son las células maduras del tejido cartilaginoso. Se encuentran alojados en las lagunas de la matriz, donde pueden aparecer de forma individual o en grupos denominados isógenos. Cada condrocito está rodeado por una delgada capa pericelular de matriz extracelular, distinta del resto de la matriz del cartílago, que, junto con el condrocito, forman lo que se denomina condrón o condroma. A diferencia de los condroblastos, los condrocitos tienen una actividad sintética reducida y se dedican principalmente al mantenimiento de la matriz existente. Morfológicamente, son células redondeadas con un núcleo excéntrico y un citoplasma claro que puede contener inclusiones de glucógeno o lípidos. En algunos tipos de cartílago, como el hialino de las placas de crecimiento, los condrocitos se organizan en columnas características que facilitan el crecimiento longitudinal del hueso.

Tabla 7. Células del tejido cartilaginoso

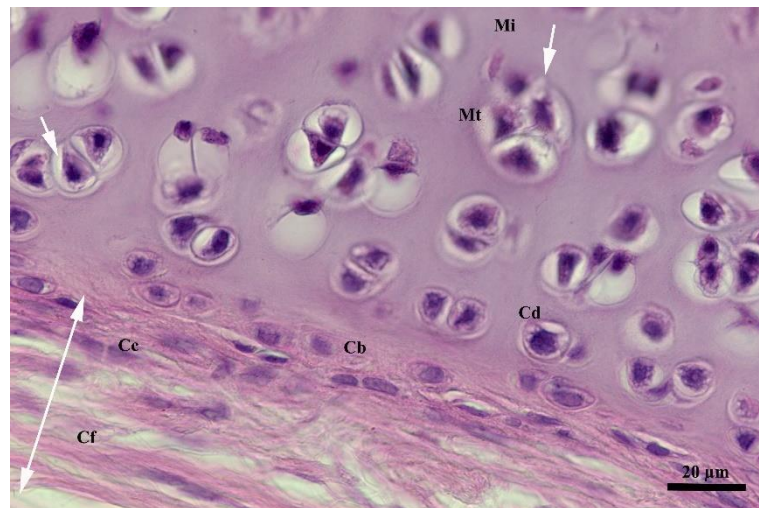
Tipo celular	Localización	Función principal	Características morfológicas
Célula condrogénica	Pericondrio	Diferenciación a condroblastos	Fusiforme, núcleo grande, basófila
Condroblasto	Periferia del cartílago	Síntesis activa de matriz	Redondeada, citoplasma basófilo
Condrocito	Matriz cartilaginosa	Mantenimiento de la matriz	Redondeada, en lagunas, citoplasma pálido

Clasificación del tejido cartilaginoso

Cartílago hialino

El más común en el organismo se caracteriza por una matriz homogénea y vítrea, con colágeno tipo II distribuido uniformemente. Está cubierto por un pericondrio que presenta dos capas: una externa y otra más interna: (1) la capa fibrosa, compuesta por tejido conectivo denso e irregular; (2) la capa condrogénica, donde están presentes las células condrógenas (Figura 44). Este tejido se localiza en los extremos articulares de los huesos largos (facilitando el movimiento sin fricción). Vías respiratorias (tráquea, bronquios, laringe). Esqueleto nasal y costillas. Además, sirve como molde para la osificación endocondral. Su matriz se divide en territorial (rodeando los condrocitos) e interterritorial (regiones distantes de las células). Los condrocitos se organizan en grupos isógenos, lo que refleja su origen por división celular (Cui, 2011).

Figura 44. Cartílago alar de la nariz (gato)

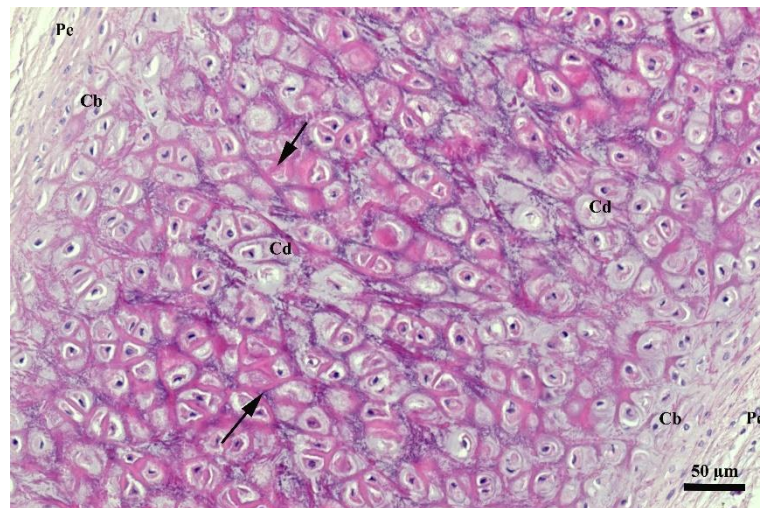


Nota. Se observa a mayor aumento en pericondrio (doble flecha blanca); el pericondrio presenta dos capas la capa fibrosa (Cf) y capa comedogénica (Cc); los condroblastos (Cb) se sitúan en el borde del pericondrio; los condrocitos (Cd) están dispersos o agrupados en grupos isogénicos (flecha blanca) sobre la matriz del cartílago que a su vez presenta matriz territorial (Mt) y matriz interterritorial (Mi). Barra: 20 μ m. Tinción H&E. Archivo del Laboratorio de Histología y Patología, Medicina Veterinaria, UNSAAC.

Cartílago elástico

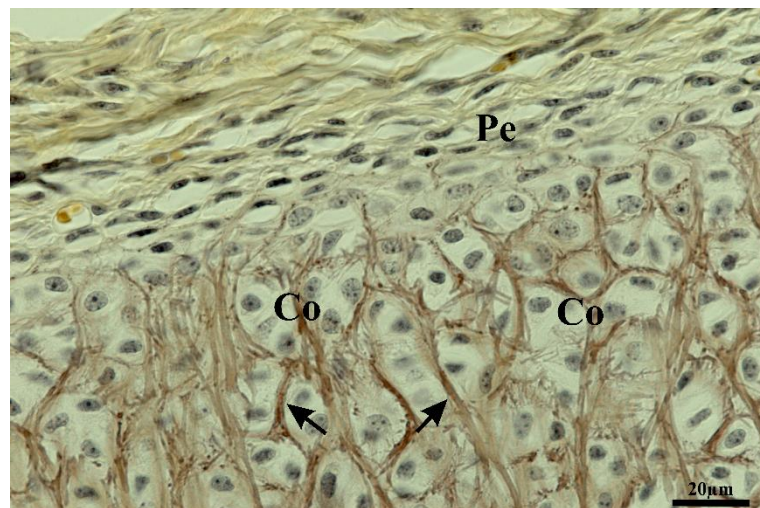
Destaca por su flexibilidad extrema, debido a redes anastomosadas de fibras elásticas y a una menor proporción de colágeno tipo II. Macroscópicamente, presenta un tono amarillento y opaco. Sus condrocitos, más grandes que los del hialino, forman grupos isógenos con poros visibles (Figuras 45 y 46). Se encuentra en el pabellón auricular y en el conducto auditivo externo. Epiglotis y cartílagos laríngeos menores. A diferencia del hialino, carece de acumulación significativa de glucógeno en sus células y presenta un pericondrio con mayor densidad de fibras colágenas (Alonso de León, 2009).

Figura 45. Epiglotis (llama)



Nota. Se observa tejido cartilaginoso elástico. Pericondrio (Pe); condrocitos (Cd); fibras elásticas (flecha) entre los condrocitos; condroblastos (Cb). Barra: 50 µm. Tinción H&E. Archivo del Laboratorio de Histología y Patología, Medicina Veterinaria, UNSAAC.

Figura 46. Pabellón auricular (oveja)



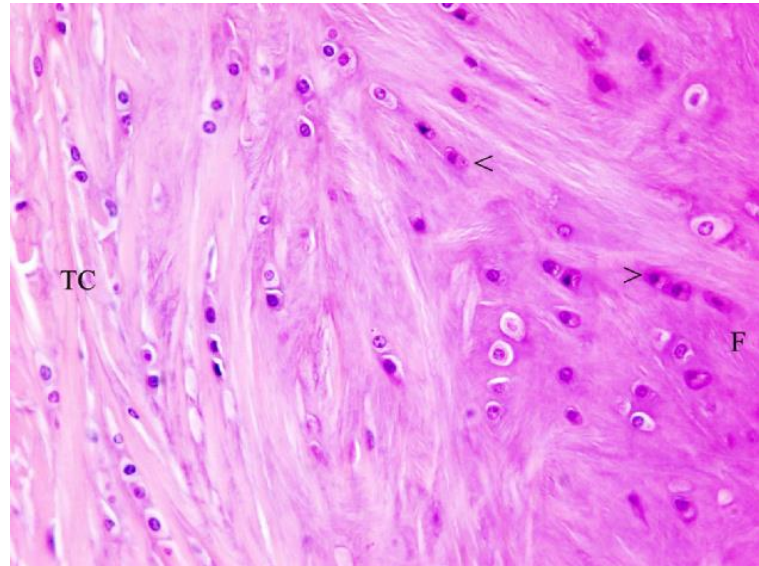
Nota. Se observa un mayor aumento en el pericondrio (Pe), los condrocitos (Co) y las fibras elásticas (flecha) entre los condrocitos. Barra de 20 µm, tinción de orceína. Archivo del Laboratorio de Histología y Patología, Medicina Veterinaria, UNSAAC.

Cartílago fibroso (Fibrocartílago)

El menos frecuente combina características de cartílago y de tejido conectivo denso. Su matriz contiene haces prominentes de colágeno tipo I, orientados paralelamente a las fuerzas mecánicas, y condrocitos alineados entre sí (Figura 47). Carece de pericondrio y se localiza en los discos intervertebrales y en los meniscos de la rodilla (absorción de impactos). Esqueleto cardíaco en caninos: trígono fibroso, que une los músculos cardíacos. Inserciones de tendones y ligamentos en el hueso. En zonas como

el trígono fibroso, la matriz presenta una distribución aleatoria de fibras y condrocitos, con la sustancia fundamental concentrada cerca de las células (Eurell & Frappier, 2006).

Figura 47. Meniscos articulares

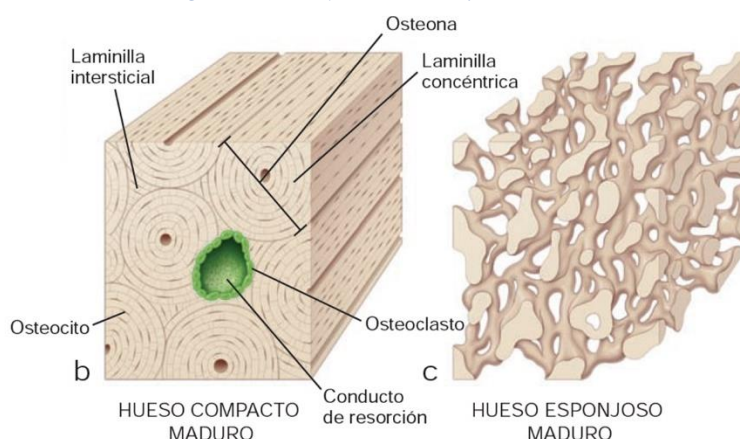


Nota. Se observa tejido cartilaginoso fibroso (fibrocartílago). Transición del tejido conectivo denso fibroso modelado (TC) del tendón a fibrocartílago (F); condrocitos (>). H&E. (Gómez Sánchez et al., 2024).

▪ **Tejido óseo**

El tejido óseo es un tejido conectivo especializado que cumple funciones de soporte mecánico, protección de órganos vitales, homeostasis mineral (calcio y fósforo) y hematopoyesis (en la médula ósea) (Pawlina, 2016). El hueso es un tejido mineralizado compuesto por aproximadamente un 60 % de componentes inorgánicos, principalmente hidroxapatita, junto con un 10 % de agua y un 30 % de componentes orgánicos (Šromová et al., 2023). Estructuralmente, se clasifica en hueso esponjoso (trabecular) y hueso compacto (cortical) (véase Tabla 9), cada uno con características histológicas y funcionales distintivas (Figura 48).

Figura 48. Esquema del tejido óseo



Nota. b) Las células del hueso compacto maduro se disponen en forma circular, que refleja la estructura laminar del sistema de Havers. Los conductos de resorción del hueso maduro están revestidos por osteoclastos (en el corte de conos) y tienen sus ejes longitudinales orientados en la misma dirección que los conductos de Havers. c) El hueso esponjoso maduro representa una malla de cordones (espículas de anastomosis delgadas del tejido óseo). Los espacios dentro de la malla son continuos y, en un hueso vivo, están ocupados por la médula ósea (Pawlina, 2016).

Células del tejido óseo

- **Células osteoprogenitoras:** Originadas de células madre mesenquimales de la médula ósea, son precursoras de los osteoblastos (Figura 49). Su diferenciación está regulada por el factor de transcripción CBFA1, que activa genes específicos del fenotipo osteoblástico. Estas células se localizan en el periostio (capa interna), el endostio (revestimiento de las cavidades medulares) y en los sistemas vascularizados del hueso. Su plasticidad les permite diferenciarse también en condrocitos, adipocitos o células musculares, lo que evidencia su rol clave en la regeneración y el mantenimiento óseos (Pawlina, 2016).
- **Osteoblastos:** células responsables de la formación y mineralización de la matriz ósea. Morfológicamente, varían desde formas cilíndricas hasta escamosas y se ubican en las superficies óseas donde se deposita nuevo hueso. Inician el proceso de calcificación mediante la secreción de vesículas matriciales (50–250 nm de diámetro), que contienen enzimas y minerales esenciales para la nucleación de cristales de hidroxipatita. Estas vesículas, limitadas por membrana, liberan su contenido en la matriz osteoide, lo que facilita su mineralización (Eurell & Frappier, 2006; Pawlina, 2016).

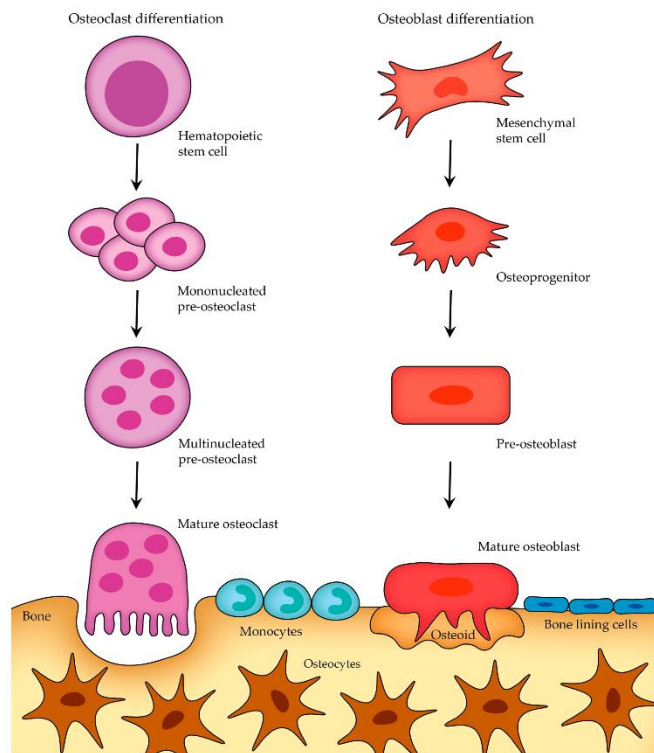
- **Osteocitos:** Estas células derivan de los osteoblastos encapsulados en matriz mineralizada y son las principales del hueso maduro. Residen en lagunas y extienden prolongaciones delgadas a través de canaliculos, formando una red interconectada con osteocitos adyacentes. Estas conexiones, mediadas por uniones comunicantes, permiten el intercambio de nutrientes y de señales mecánicas. Los osteocitos regulan el flujo de líquido extracelular mediante el movimiento de sus procesos, actuando como una "bomba" que mantiene la homeostasis ósea. Además, detectan tensiones mecánicas y activan procesos de remodelación (Eurell & Frappier, 2006).
- **Osteoclastos:** Son células multinucleadas (15–30 núcleos) especializadas en la resorción ósea. Presentan un borde ondulado en su superficie (Figura 51), formado por pliegues de membrana que secretan ácido clorhídrico y enzimas lisosomales (como colagenasa y fosfatasa ácida) para degradar la matriz mineralizada y orgánica. Esta actividad genera lagunas de Howship, cavidades que indican áreas de reabsorción previa. Además, liberan TGF- β almacenado en la matriz, lo que promueve la reparación tisular. Su función está regulada por hormonas: la paratohormona y las interleucinas estimulan su actividad, mientras que la calcitonina y la osteoprotegerina la inhiben (Eurell & Frappier, 2006).

Aunque los osteoblastos y los osteoclastos tienen funciones distintas y provienen de orígenes de desarrollo distintos, ambos tipos celulares experimentan un ciclo de vida corto similar que incluye etapas de activación, actividad y eliminación final (una vez que han completado su tarea, experimentan apoptosis, muerte celular programada) (véase Tabla 8). Los osteoblastos surgen de células madre mesenquimales, mientras que los osteoclastos derivan de células madre hematopoyéticas. Una vez que los osteoblastos y osteoclastos alcanzan su etapa madura, por lo general no migran muy lejos de su entorno local, a diferencia de sus células progenitoras, que pueden viajar desde sitios distantes en respuesta a señales o estímulos específicos (Šromová et al., 2023).

Tabla 8. Células del tejido óseo

Tipo celular	Origen	Localización	Función principal	Características morfológicas
Célula Osteogénica	Mesénquima	Pericondrio y endostio	Diferenciarse en osteoblastos	Fusiforme, núcleo alargado, citoplasma basófilo
Osteoblasto	Células osteogénicas	Superficie ósea en formación	Sintetizar matriz ósea (osteoides)	Cúbicas o poligonales, citoplasma basófilo (RER abundante)
Osteocito	Osteoblastos atrapados	Lagunas dentro de la matriz	Mantener la matriz ósea y detectar estrés mecánico	Células aplanadas con prolongaciones en canaliculos
Osteoclasto	Linaje mielomonocítico	Superficie ósea en reabsorción	Resorber hueso (liberar enzimas y ácidos)	Células multinucleadas gigantes, citoplasma acidófilo

Figura 49. Diferenciación y ciclo de vida de osteoblastos y osteoclastos antes de la apoptosis.



Nota. Tomado de (Šromová et al., 2023)

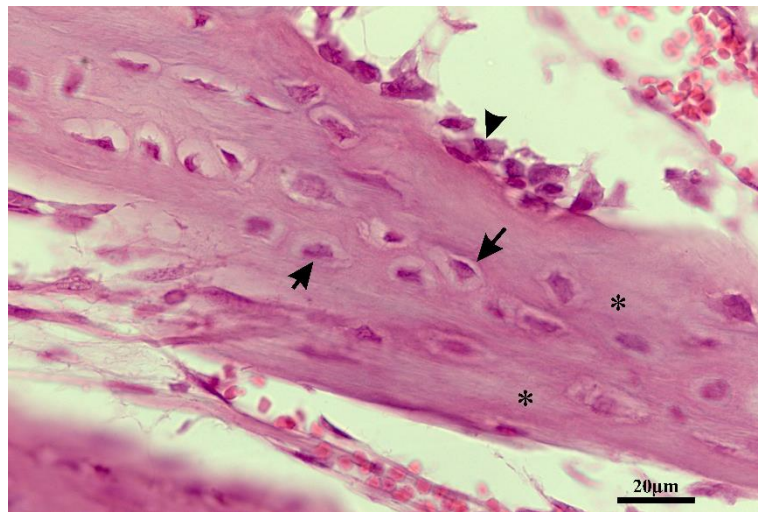
Tipos de tejido óseo

▪ Hueso esponjoso (trabecular)

El hueso esponjoso, que constituye el 20% restante de la masa ósea, presenta una estructura reticular formada por finas columnas o placas de tejido óseo llamadas trabéculas. Estas trabéculas forman un entramado tridimensional

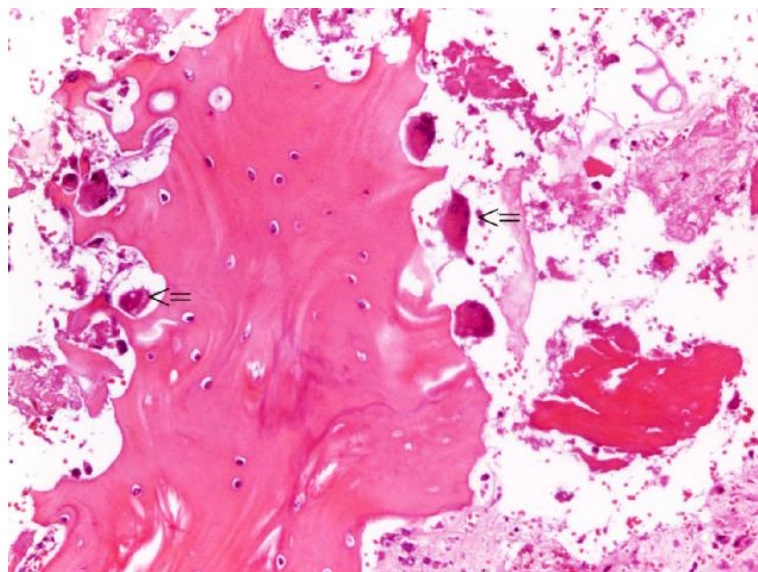
que delimita espacios llenos de médula ósea roja o amarilla (Figura 50). A diferencia del hueso compacto, el tejido esponjoso carece de osteonas. Las trabéculas están formadas por láminas de hueso paralelas entre sí, con osteocitos distribuidos de forma irregular. Esta organización proporciona una gran superficie para el intercambio metabólico, lo que convierte al hueso esponjoso en el principal sitio de homeostasis mineral. Se encuentra predominantemente en las epífisis de los huesos largos, las vértebras, las costillas y los huesos planos del cráneo (Banks, 1996).

Figura 50. Hueso esponjoso (perro)



Nota. Se observa una trabécula del hueso con mayor aumento; en su periferia se observan osteoblastos (punta de flecha) y osteocitos (flecha); la matriz ósea (*); y, alrededor de la trabécula, se observa tejido sanguíneo. Barra: 20 μm. H&E. Archivo del Laboratorio de Histología y Patología, Medicina Veterinaria, UNSAAC.

Figura 51. Osteoclastos

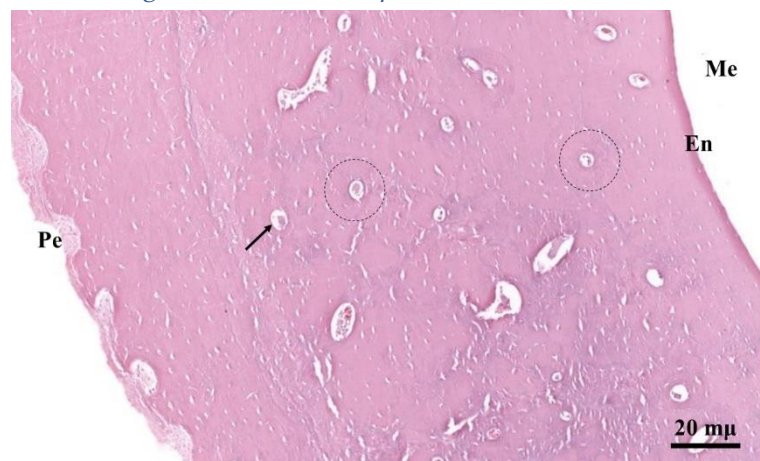


Nota. Osteoclastos (flechas). Son células multinucleadas que derivan de los monocitos sanguíneos y se encargan de la remodelación ósea. Se encuentran entre las trabéculas óseas y los capilares sanguíneos (Gómez Sánchez et al., 2024).

▪ Hueso compacto (cortical)

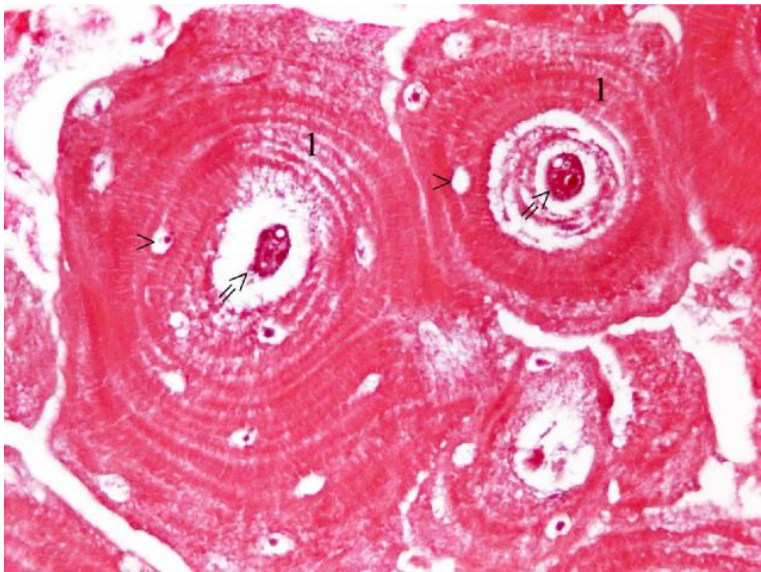
El hueso compacto constituye aproximadamente el 80% de la masa ósea total y se caracteriza por su apariencia maciza y densa al microscopio (Figura 52). Estructuralmente, su unidad funcional básica es la osteona o sistema de Havers, que consiste en láminas concéntricas de matriz ósea dispuestas alrededor de un canal central que contiene vasos sanguíneos y nervios (Figura 53). Estas osteonas están interconectadas por los canales de Volkmann, que permiten la comunicación vascular entre distintos sistemas haversianos. Los osteocitos, células óseas maduras, se alojan en pequeñas cavidades llamadas lagunas y se comunican entre sí a través de delgados canalículos que irradian desde estas cavidades (canalículos óseos o canalículos calcóforos). El hueso compacto predomina en las diáfisis de los huesos largos y forma la capa externa de todos los huesos, proporcionando resistencia a las fuerzas de flexión y torsión (Eurell & Frappier, 2006; Fawcett, 1996).

Figura 52. Hueso compacto (mono)



Nota. Corte transversal del hueso tibial (mono). Vista panorámica de un hueso cortical que muestra: periostio (Pe); endostio (En); osteona (círculos), también llamado sistema de Havers; conducto de Havers (flechas). H&E en hueso descalcificado (Sorenson & Brelje, 2014).

Figura 53. Hueso compacto mayor aumento



Nota. Se muestra un mayor aumento: Osteona (1) o sistema de Havers. Es la unidad morfológica y funcional del hueso compacto y está formada por un número variable de laminillas óseas concéntricas. Osteocitos (>). Conducto de Havers (flechas) en la porción central de la osteona. H&E (Gómez Sánchez et al., 2024).

Tabla 9. Hueso esponjoso y compacto

Característica	Hueso esponjoso	Hueso compacto
Organización	Trabéculas con cavidades de médula	Osteonas (sistemas de Havers)
Densidad	Baja (poroso)	Alta (denso)
Vascularización	Alta (contacto directo con médula)	Limitada (canales de Havers/Volkmann)
Función principal	Metabolismo y hematopoyesis	Soporte mecánico y protección
Localización	Epífisis, vértebras, huesos planos	Diáfisis, corteza ósea externa

■ **Procesos de osificación**

El proceso de formación del hueso, conocido como osificación u osteogénesis, ocurre mediante dos mecanismos principales: osificación intramembranosa y osificación endocondral (véase la Tabla 10). Estos procesos difieren en su origen embriológico, en los

mecanismos celulares y en los tipos de hueso que producen, aunque ambos resultan en tejido óseo maduro funcional.

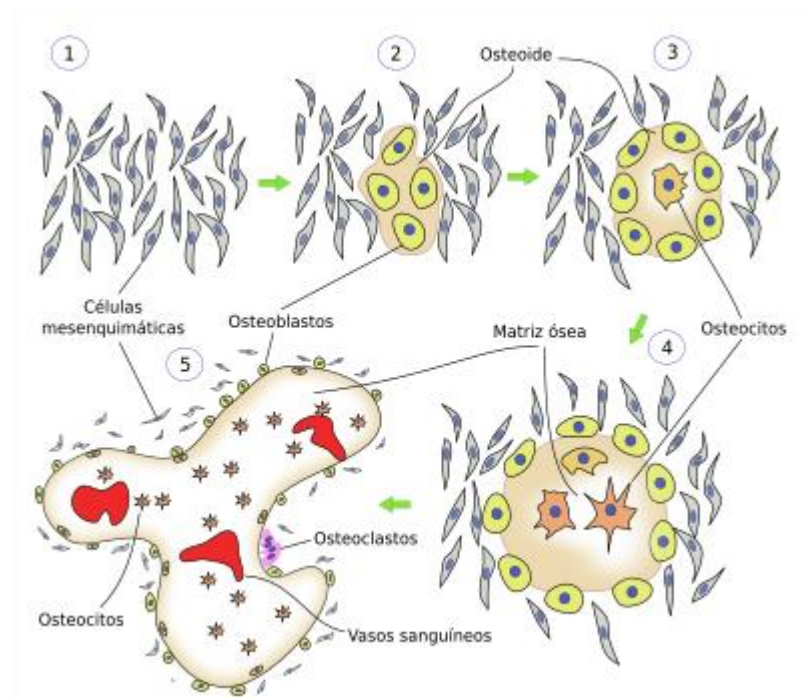
▪ **Osificación intramembranosa**

La osificación intramembranosa es el proceso por el cual se forman los huesos planos (como los del cráneo, mandíbula y clavículas) directamente a partir de un molde de tejido mesenquimal (tejido conectivo embrionario), sin pasar por una etapa de cartílago (Figura 54).

Este proceso implica la conversión directa de mesénquima en hueso. Comienza cuando las células mesenquimales derivadas de la cresta neural se diferencian en células especializadas en la formación de hueso, llamadas osteoblastos. Los osteoblastos se agrupan en grupos y forman un centro de osificación. Los osteoblastos comienzan a secretar osteoide, una matriz de colágeno y proteoglicano no mineralizada que puede unir calcio. La unión del calcio al osteoide provoca el endurecimiento de la matriz y el atrapamiento de los osteoblastos. Este atrapamiento conduce a la transformación de los osteoblastos en osteocitos. A medida que el osteoide continúa siendo secretado por los osteoblastos, rodea los vasos sanguíneos y forma hueso trabecular/esponjoso. Estos vasos eventualmente darán lugar a la médula ósea roja. Las células mesenquimales en la superficie del hueso forman una membrana llamada periostio. Las células en la superficie interna del periostio se diferencian en osteoblastos y secretan osteoide paralelo al de la matriz existente, formando así capas. Estas capas se denominan colectivamente hueso compacto/cortical (Percival & Richtsmeier, 2013). La osificación intramembranosa se puede resumir en cinco pasos:

1. Las células mesenquimales se diferencian en osteoblastos y se agrupan en centros de osificación.
2. Los osteoblastos quedan atrapados en el osteoide que secretan, transformándolos en osteocitos.
3. Se forman el hueso trabecular y el periostio
4. El hueso cortical se forma superficialmente respecto del hueso trabecular.
5. Los vasos sanguíneos forman la médula roja (Breeland et al., 2025).

Figura 54. Osificación intramembranosa (esquema)



Nota. Pasos en la osteogénesis intramembranosa. 1) Células mesenquimáticas. 2) Formación del centro de osificación, producción de osteoide y diferenciación de los osteoblastos. 3) Diferenciación de osteocitos, producción de matriz ósea. 4 y 5) Crecimiento del hueso desde el borde del hueso, donde hay osteoblastos que progresivamente se convierten en osteocitos para formar las trabéculas óseas. Cuando la trabécula alcanza un tamaño crítico (5), se produce la invasión por parte de los vasos sanguíneos. 5) Trabécula ósea con osteoblastos en la periferia, osteocitos y osteoclastos, invasión de vasos sanguíneos (Megías et al., 2020a).

▪ Osificación endocondral

La osificación endocondral es el mecanismo por el cual se forman la mayoría de los huesos del cuerpo, incluyendo los huesos largos (fémur, húmero), huesos cortos (falanges) y algunas partes de huesos irregulares (Montalvo, 2010). A diferencia de la osificación intramembranosa, este proceso implica la formación previa de un molde de cartílago hialino, que luego es reemplazado por hueso (Figura 55).

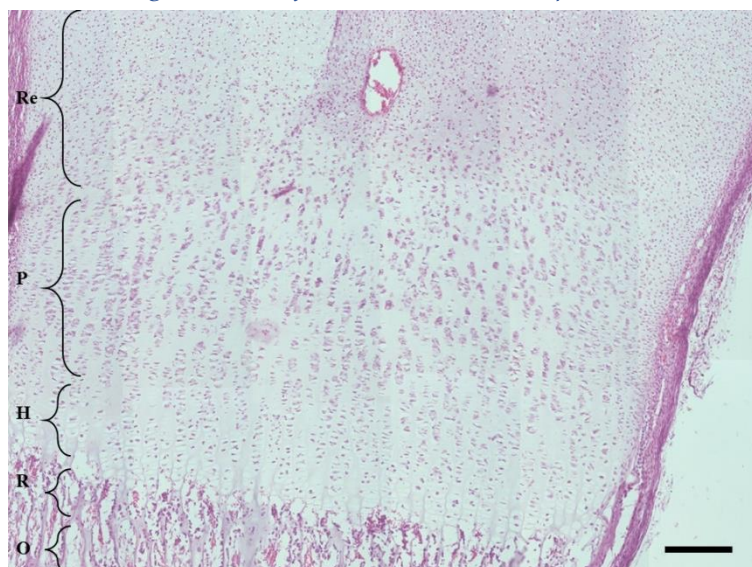
Este proceso implica la sustitución del cartílago hialino por hueso. Comienza cuando las células mesenquimales derivadas del mesoderma se diferencian en condrocitos. Los condrocitos proliferan rápidamente y secretan una matriz extracelular que forma el cartílago modelo del hueso. Este modelo incluye cartílago hialino con la forma del futuro hueso, así como una membrana circundante llamada pericondrio. Los condrocitos cercanos al centro del

modelo óseo comienzan a hipertrofiarse y a añadir colágeno X y más fibronectina a la matriz que producen; esta matriz alterada favorece la calcificación. La calcificación de la matriz extracelular impide que los nutrientes lleguen a los condrocitos y provoca su apoptosis. La muerte celular resultante genera vacíos en la plantilla cartilaginosa y permite la invasión de vasos sanguíneos. Los vasos sanguíneos amplían aún más los espacios, que finalmente se combinan y forman la cavidad medular; también transportan células osteogénicas y desencadenan la transformación del pericondrio en periostio. Los osteoblastos crean entonces una región engrosada de hueso compacto en la región diafisaria del periostio, denominada collar perióstico. Es aquí donde se forma el centro de osificación primario. Mientras el hueso reemplaza al cartílago en la diáfisis, el cartílago continúa proliferando en los extremos del hueso, lo que aumenta su longitud. Estas áreas proliferativas se convierten en las placas epifisarias (placas fisarias/placas de crecimiento), que permiten el crecimiento longitudinal de los huesos desde el nacimiento hasta la edad adulta temprana. Después del nacimiento, todo este proceso se repite en la región epifisaria; es aquí donde se forma el centro de osificación secundario (Ortega et al., 2004). Las etapas del proceso son:

1. Formación del modelo cartilaginoso: Las células mesenquimales se diferencian en condroblastos, que producen una matriz cartilaginosa con la forma del futuro hueso.
2. Crecimiento del cartílago: El cartílago crece por aposición (cartílago circunferencial) y por acción intersticial (división de condrocitos).
3. Calcificación del cartílago: Los condrocitos en la diáfisis hipertrofian y la matriz se calcifican, lo que impide la difusión de nutrientes y provoca su muerte.
4. Invasión vascular y formación del centro primario de osificación: Los osteoclastos degradan el cartílago calcificado, mientras que los osteoblastos depositan hueso sobre los restos de matriz cartilaginosa, formando espículas de hueso trabecular.

5. Formación de los centros secundarios de osificación: En las epífisis, se forman nuevos núcleos de osificación después del nacimiento.
6. Formación de la placa epifisaria: Una zona de cartílago de crecimiento persiste entre la epífisis y la diáfisis, lo que permite el crecimiento longitudinal hasta la pubertad.

Figura 55. Osificación endocondral (perro)



Nota. Los condrocitos de la zona de reserva (Re) se encuentran dispersos en la matriz. En la zona de proliferación (P), los condrocitos se disponen en columnas. Las células aumentan de tamaño en la zona de hipertrofia (H). Los capilares metafisarios entran en la zona de reabsorción (R) y el hueso se forma sobre los restos cartilaginosos de la fisis en la zona de osificación (O). Barra de 200 μ m, H&E. Archivo del Laboratorio de Histología y Patología, Medicina Veterinaria, UNSAAC.

Tabla 10. Característica de los tipos de osificación

Característica	Osificación intramembranosa	Osificación endocondral
Origen del tejido	Mesénquima directo	Molde de cartílago hialino
Tipos de hueso formado	Huesos planos (cráneo, mandíbula)	Huesos largos, cortos e irregulares (fémur, vértebras)
Presencia de cartílago	No	Sí (etapa intermedia)
Proceso principal	Diferenciación directa de osteoblastos	Reemplazo progresivo de cartílago por hueso

▪ Tejido sanguíneo

La sangre, un tejido conectivo especializado, está compuesta por células, fragmentos celulares y plasma, un líquido que constituye el 55% de su volumen (varía según la especie animal). Este tejido dinámico cumple funciones vitales de transporte, regulación y protección, esenciales para mantener la homeostasis del organismo. Circula por el sistema vascular, conectando todos los órganos y sistemas, lo que le permite actuar como un medio de comunicación fisiológica integral (Klein, 2014).

El plasma, la porción líquida de la sangre, contiene agua (90%), proteínas como albúmina (que mantiene la presión oncótica), globulinas (que incluyen anticuerpos) y fibrinógeno (clave en la coagulación), además de electrolitos, hormonas y productos de desecho. Los eritrocitos o glóbulos rojos, células anucleadas en forma de disco bicóncavo, transportan oxígeno mediante la hemoglobina y facilitan la eliminación de dióxido de carbono. Los leucocitos o glóbulos blancos, divididos en granulocitos (neutrófilos, eosinófilos, basófilos) y agranulocitos (linfocitos, monocitos), defienden al organismo contra los patógenos y participan en las respuestas inmunitarias. Las plaquetas, fragmentos citoplasmáticos derivados de megacariocitos, son fundamentales en la hemostasia: forman tapones iniciales y activan la cascada de coagulación.

En cuanto a sus funciones, la sangre transporta oxígeno desde los pulmones a los tejidos, nutrientes desde el sistema digestivo, hormonas desde las glándulas endocrinas y desechos metabólicos hacia los órganos excretores. En la regulación, equilibra la temperatura corporal mediante la redistribución del calor y mantiene el pH sanguíneo cerca de 7.4 gracias a sistemas amortiguadores, como el bicarbonato. Para la protección, las plaquetas previenen hemorragias, mientras que los leucocitos neutralizan infecciones: los neutrófilos fagocitan bacterias, los linfocitos coordinan la inmunidad adaptativa y los monocitos se transforman en macrófagos en los tejidos.

Histológicamente, la sangre se estudia mediante frotis teñidos con Wright, en los que los eritrocitos aparecen rosados y anucleados, los leucocitos presentan núcleos púrpuras y gránulos específicos, y las plaquetas se observan como pequeños fragmentos dispersos. Los neutrófilos se identifican por su núcleo multilobulado, los eosinófilos por gránulos rojizos, y los linfocitos por su núcleo redondo y citoplasma escaso

▪ Eritrocitos

Los eritrocitos o glóbulos rojos presentan notables diferencias morfológicas y funcionales entre mamíferos y aves, lo que refleja adaptaciones evolutivas a sus respectivas necesidades fisiológicas. En los mamíferos, los eritrocitos se caracterizan por su forma de disco bicóncavo y su condición anucleada en estado maduro (en el caso de los camélidos, posee una forma ovoide) (Liebich, 2019; Reynafarje et al., 1968), lo que les proporciona una mayor superficie para el intercambio gaseoso (Figura 56). Estas células, con un diámetro típico de 5-8 μm , contienen aproximadamente 250 millones de moléculas de hemoglobina y poseen una membrana flexible, gracias a proteínas como la espectrina, lo que les permite deformarse al pasar por los capilares más estrechos. Su vida media varía entre 50 y 120 días según la especie, y se reemplazan constantemente mediante el proceso de eritropoyesis en la médula ósea.

En marcado contraste, los eritrocitos de las aves conservan su núcleo incluso en estado maduro y presentan una forma ovalada, con un tamaño significativamente mayor (Figura 59). Presentan un diámetro mayor y un diámetro menor que varían de 11 a 16 μm y de 6 a 10 μm respectivamente (González & Barbeito, 2014). Esta característica nucleada, junto con una menor relación superficie-volumen en comparación con los eritrocitos de mamíferos, está asociada a las mayores demandas metabólicas del vuelo. Las aves han desarrollado hemoglobina con mayor afinidad por el oxígeno y mecanismos más eficientes para el reciclaje de hierro, almacenado principalmente como hemosiderina. Además, su eritropoyesis ocurre principalmente en el bazo y el hígado, en lugar de la médula ósea, y presenta una vida media más corta (28-45 días).

▪ Leucocitos

Los leucocitos son componentes celulares fundamentales del sistema inmunitario (Figura 56). Se trata de células nucleadas, de mayor tamaño y en menor cantidad que los eritrocitos. Se clasifican en dos grupos: granulocitos (neutrófilos, eosinófilos y basófilos) y agranulocitos (linfocitos y monocitos), según la presencia o ausencia de gránulos citoplasmáticos específicos (Bacha & Bacha, 2012).

▪ Neutrófilos

Los neutrófilos, también denominados polimorfonucleares, se originan en la médula ósea y son liberados a la circulación una vez completada su maduración. El neutrófilo maduro mide aproximadamente entre 12 y 15 μm de diámetro y se caracteriza por un núcleo segmentado, compuesto habitualmente por tres o cuatro lóbulos con cromatina densa o heterocromática (Figuras 56 y 57). Los gránulos presentes en los neutrófilos contienen numerosas enzimas hidrolíticas y sustancias antibacterianas necesarias para inactivar y digerir los microorganismos fagocitados. El citoplasma es relativamente transparente, ya que los gránulos son pequeños y de coloración neutra en la mayoría de los neutrófilos de mamíferos. En contraste, los gránulos citoplasmáticos de los neutrófilos en conejos, cobayos, aves, anfibios y reptiles son grandes y de color rojo, por lo que a estas células se las denomina heterófilas (Eurell & Frappier, 2006).

El citoplasma de los neutrófilos contiene tres tipos de gránulos, cuya diversidad refleja las múltiples funciones fagocíticas de estas células:

- Gránulos azurófilos (o gránulos primarios): Son más grandes y menos abundantes que los gránulos específicos. Se forman en las etapas iniciales de la granulopoyesis y están presentes no solo en los granulocitos, sino también en los monocitos y los linfocitos. Estos gránulos corresponden a los lisosomas de los neutrófilos y contienen mieloperoxidasa (MPO), una enzima peroxidasa que participa en la formación de hipoclorito y cloraminas, compuestos altamente bactericidas. Además de contener diversas hidrolasas ácidas, incluyen proteínas catiónicas llamadas defensinas, que actúan de forma análoga a los anticuerpos, y el péptido antimicrobiano catelicidina, encargado de destruir patógenos.
- Gránulos específicos (o gránulos secundarios): Son los más pequeños y, al menos, dos veces más abundantes que los gránulos azurófilos. Son apenas visibles al microscopio óptico, pero en imágenes de microscopía electrónica presentan una forma elíptica.

Contienen diversas enzimas (colagenasa tipo IV, gelatinasa, fosfolipasa), activadores del complemento y otros péptidos antimicrobianos como la lisozima y la lactoferrina.

- Gránulos terciarios: Se clasifican en dos tipos. Uno de ellos contiene fosfatasas (enzimas que eliminan grupos fosfato de los sustratos), también conocidas como fosfasomas. El otro tipo alberga metaloproteinasas, como colagenasas y gelatinasas, que se considera facilitan la migración de los neutrófilos a través del tejido conjuntivo (Borregaard et al., 2007; Pawlina & Ross, 2020).

▪ Eosinófilos

Los eosinófilos, también denominados acidófilos, constituyen el segundo tipo de granulocito más frecuente. Generalmente representan entre el 0 y el 8 % del recuento total de leucocitos, lo que equivale a un rango de 0 a 500 eosinófilos/ μ L de sangre (Eurell & Frappier, 2006). Su diámetro oscila entre 12 y 14 μ m. Presentan un núcleo bilobulado, aunque en algunos casos puede adoptar una forma polimorfa. Una característica distintiva de estas células es sus gránulos acidófilos (Figuras 56 y 57), que son uniformes dentro de una misma célula, pero varían según la especie; por ejemplo, son especialmente grandes en los équidos (Banks, 1996).

El citoplasma de los eosinófilos contiene dos tipos de gránulos: gránulos específicos, grandes, alargados y abundantes, y gránulos azurófilos. A excepción de estos últimos, los orgánulos membranosos están escasamente representados en esta célula.

- Gránulos azurófilos (o gránulos primarios): corresponden a lisosomas que contienen una variedad de hidrolasas lisosómicas ácidas, así como otras enzimas hidrolíticas. Estas enzimas participan en la destrucción de parásitos y en la degradación de complejos antígeno-anticuerpo fagocitados por los eosinófilos.
- Gránulos específicos (o gránulos secundarios): presentan cuerpos cristaloides responsables de la birrefringencia observada al microscopio óptico. Contienen cuatro proteínas principales: la proteína básica mayor (MBP), rica en arginina y responsable de la intensa acidofilia del gránulo; la proteína catiónica de eosinófilo

(ECP); la peroxidasa de eosinófilo (EPO) y la neurotoxina derivada de eosinófilo (EDN). La MBP se localiza en el cuerpo cristalóide, mientras que las otras tres proteínas se encuentran en la matriz del gránulo. La MBP, ECP y EPO ejercen una potente acción citotóxica sobre protozoarios y helmintos parásitos. La EDN puede provocar disfunción del sistema nervioso en los organismos parásitos. Además, los gránulos contienen histaminasa, que neutraliza la acción de la histamina, y arilsulfatasa, que degrada los leucotrienos secretados por basófilos y mastocitos. También poseen otras enzimas, como la colagenasa y las catepsinas (Pawlina, 2016).

La vida intravascular del eosinófilo es extremadamente breve; en el perro se estima en menos de una hora. Esta célula desempeña funciones importantes en reacciones inflamatorias, alérgicas y anafilácticas agudas, así como en el control de infestaciones por helmintos. Durante la regulación de respuestas alérgicas e inflamatorias, los eosinófilos fagocitan complejos inmunitarios e inhiben tanto la liberación como la reposición de histamina y de otras aminas vasoactivas. No obstante, sus capacidades fagocíticas y bactericidas son limitadas en comparación con las de los neutrófilos. Se ha observado que los eosinófilos también pueden causar daño tisular y participar en procesos de fibrosis cuando su número es excesivo.

Diversas sustancias, como complejos antígeno-anticuerpo, fibrina, fibrinógeno y factores liberados por linfocitos T activados, basófilos o mastocitos, pueden actuar como agentes quimiotácticos para los eosinófilos. La histamina, liberada por mastocitos y basófilos en respuesta a lesiones tisulares o reacciones alérgicas, constituye el principal factor quimiotáctico para estas células (Eurell & Frappier, 2006).

▪ **Basófilos**

Los basófilos son los leucocitos menos numerosos, representando rara vez más del 0 al 1,5 % del recuento total de leucocitos, lo que equivale a entre 0 y 200 basófilos/ μ L de sangre (Eurell & Frappier, 2006). Su tamaño es similar al de los neutrófilos, con un diámetro de 9 a 12 μ m. Por

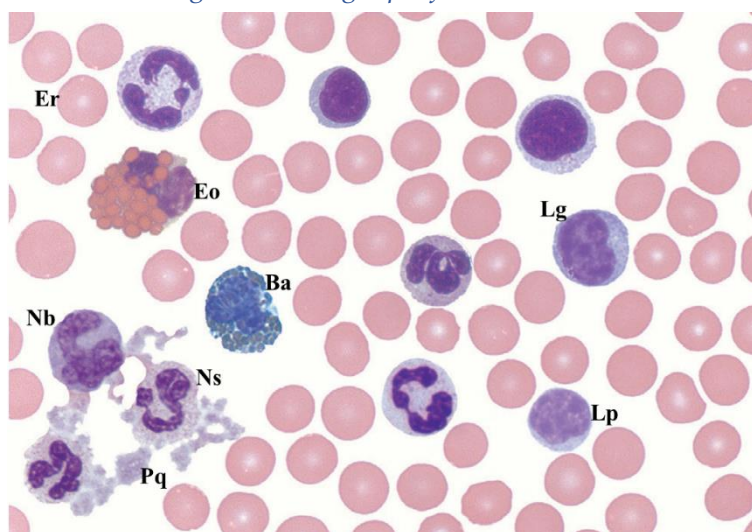
lo general, presentan un núcleo bilobulado, aunque pueden encontrarse células con más lóbulos. Sus gránulos específicos son esféricos, de tamaño variable, basófilos y metacromáticos (Figura 57). Es característico que estos gránulos se tiñan con una intensidad mayor que la del núcleo, hasta el punto de ocultarlo parcialmente (Banks, 1996).

El citoplasma del basófilo contiene dos tipos de gránulos: gránulos específicos, de mayor tamaño que los de los neutrófilos, y gránulos azurófilos inespecíficos. (a) Gránulos azurófilos (o gránulos primarios): son los lisosomas de los basófilos y contienen diversas hidrolasas ácidas típicas, similares a las de otros leucocitos. (b) Gránulos específicos (o gránulos secundarios): observados al microscopio electrónico de transmisión (MET), presentan una textura granulada y, en ocasiones, figuras de mielina. Estos gránulos contienen una amplia variedad de sustancias, entre ellas heparina, histamina, heparán sulfato, leucotrienos, interleucina-4 (IL-4) e interleucina-13 (IL-13). La heparina, un glucosaminoglucano sulfatado, actúa como anticoagulante. La histamina y el heparán sulfato son agentes vasoactivos que, entre otras funciones, provocan la dilatación de los vasos sanguíneos pequeños. Los leucotrienos son lípidos que inducen una contracción prolongada del músculo liso de las vías respiratorias. Por su parte, IL-4 e IL-13 estimulan la síntesis de inmunoglobulina E (IgE). La intensa basofilia de estos gránulos se debe a la alta concentración de grupos sulfato en los glucosaminoglucanos de la heparina y el heparán sulfato (Pawlina, 2016).

Como fuente de heparina, los basófilos contribuyen a la regulación de la coagulación. En cuanto a su contenido de histamina y heparina, es muy similar al de los mastocitos. No obstante, se diferencian de estos por la presencia de gránulos positivos para la peroxidasa (Liebich, 2019). Tanto los mastocitos como los basófilos fijan la IgE, un anticuerpo secretado por las células plasmáticas, mediante receptores Fc de alta afinidad de su membrana celular. La exposición al antígeno específico (alérgeno) de la IgE y su posterior reconocimiento activan a basófilos y mastocitos, lo que provoca la liberación de agentes vasoactivos almacenados en sus gránulos. Estas sustancias son responsables de las

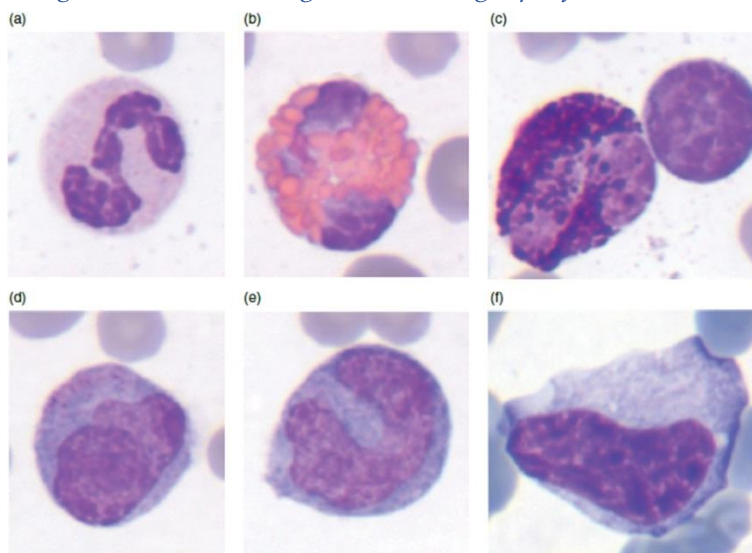
alteraciones vasculares características de las reacciones de hipersensibilidad y de la anafilaxia (Pawlina, 2016).

Figura 56. Sangre periférica (caballo)



Nota. Se observan: neutrófilos maduros segmentados (Ns); neutrófilos inmaduros en banda (Nb); eosinófilos (Eo); basófilos (Ba); linfocitos grandes (Lg); linfocitos pequeños (Lp); eritrocitos (Er). Tinción de Pappenheim (inmersión en aceite, x1000). (Liebich, 2019).

Figura 57. Células sanguíneas en sangre periférica (caballo)



Nota. Se observan: neutrófilos maduros (a). Eosinófilos (b). Basófilos y linfocitos pequeños (a la derecha) (c). Monocitos (d–f). Tinción de Wright-Giemsa. (Walton et al., 2021).

▪ Linfocitos

Los linfocitos son los agranulocitos más frecuentes (Figuras 56-58). Se caracterizan por una alta relación núcleo/citoplasma (Banks,

1996). Su tamaño es variable: los linfocitos pequeños miden entre 6 y 9 μm de diámetro, apenas más grandes que un eritrocito, mientras que los más grandes alcanzan hasta 15 μm . Los linfocitos pequeños son los más abundantes y se encuentran en la sangre, la linfa y el tejido linfático. En la sangre de perros y gatos predominan los linfocitos pequeños, mientras que en rumiantes (vacas, ovejas y cabras) se observan tanto linfocitos pequeños como grandes (Eurell & Frappier, 2006).

El núcleo es casi siempre esférico, con la heterocromatina condensada en la periferia. Su densidad es tal que puede oscurecer el núcleo. Suele presentar una muesca y el citoplasma es escaso, claro y basófilo, pudiendo contener algunas granulaciones azurófilas inespecíficas (Banks, 1996; Eurell & Frappier, 2006).

En el organismo existen tres tipos funcionales de linfocitos: linfocitos T, linfocitos B y linfocitos NK. Esta clasificación se basa en su función, no en su tamaño ni en su morfología. Los linfocitos T (células T) reciben su nombre porque se diferencian en el timo. Los linfocitos B (células B) fueron identificados originalmente en la bolsa de Fabricio de las aves; en mamíferos, se desarrollan en órganos equivalentes, como la médula ósea. Las células asesinas naturales (NK, por sus siglas en inglés) derivan de los mismos precursores que los linfocitos B y T, y se denominan así porque están programadas para destruir ciertos tipos de células transformadas (Pawlina, 2016).

▪ **Monocitos**

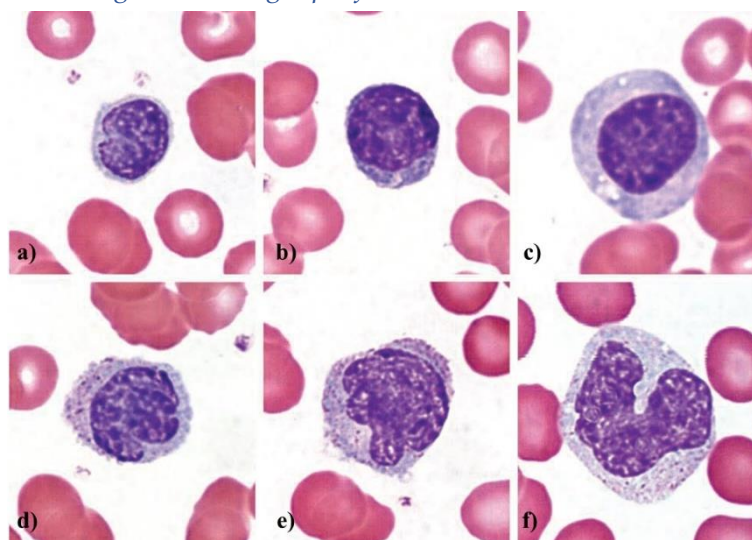
Los monocitos son los leucocitos circulantes de mayor tamaño (Figuras 56-58), con un diámetro de 15 a 22 μm . Su núcleo es ovoide, de forma de riñón o de herradura (Junqueira & Carneiro, 2015), aunque también pueden encontrarse núcleos esféricos o trilobulados (Banks, 1996). Debido a la escasa densidad de su cromatina, el núcleo es más claro que el de los linfocitos. Puede contener dos o tres nucléolos, que a veces son visibles en los extendidos comunes (Junqueira & Carneiro, 2015).

Los monocitos representan entre el 3 y el 8 % del recuento total de leucocitos, lo que equivale a 200 a 1000 células/ μL de sangre. Su vida

media en la circulación sanguínea varía entre las especies. Circulan de manera transitoria en la sangre periférica, saliendo de la vasculatura de forma aleatoria o en respuesta a un estímulo inflamatorio (Eurell & Frappier, 2006).

Durante los procesos inflamatorios, los monocitos abandonan los vasos sanguíneos en el sitio afectado, se diferencian en macrófagos tisulares y fagocitan bacterias, otras células y detritos tisulares. Este sistema monocito-macrófago actúa como célula presentadora de antígenos y desempeña un papel clave en las respuestas inmunitarias. El macrófago degrada parcialmente los antígenos y presenta sus fragmentos mediante moléculas MHC II en su superficie, lo que permite su reconocimiento por los linfocitos T CD4+ cooperadores (Pawlina, 2016).

Figura 58. Sangre periférica (ser humano)



Nota. Se observan los linfocitos (a-c); se observa que varían en tamaño, pero cada uno representa una célula madura. Los linfocitos circulantes suelen describirse como pequeños, medianos y grandes. Los monocitos (d-f) tienen un tamaño que varía desde aproximadamente 13 mm hasta 20 mm, con la mayor parte en el rango de tamaño superior. El núcleo exhibe el rasgo más característico del monocito, a saber, una indentación que a veces es tan prominente que adopta una forma de U. Tinción de Wright, 2150x. (Pawlina, 2016).

▪ Trombocitos

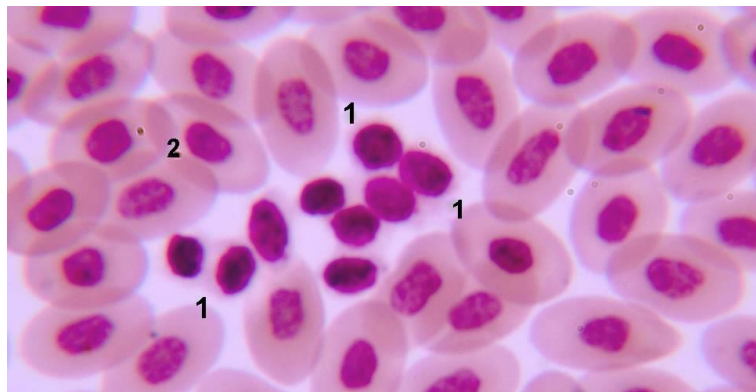
También denominadas plaquetas (Figura 56), son estructuras especializadas derivadas del citoplasma de un megacariocito, una célula muy grande de la médula ósea. Aunque no todos los autores coinciden en

considerarlas células verdaderas, se comportan como tales, ya que responden al entorno en el que se encuentran e incluso pueden sintetizar proteínas.

Tienen forma de disco cuando se observan mediante microscopía electrónica de barrido. En un frotis sanguíneo se observan como estructuras pequeñas, de 2 a 4 μm , que presentan un centro basófilo, denominado granulómero, donde se localizan sus gránulos, y un citoplasma eosinófilo periférico, llamado hialómero (Fortoul, 2020).

Las plaquetas desempeñan un papel central en la hemostasia (la detención de la hemorragia). Además, son importantes para el mantenimiento del endotelio de los vasos sanguíneos, gracias a la liberación del factor de crecimiento derivado de plaquetas (platelet-derived growth factor, PDGF), que estimula los procesos de reparación tisular. Ante un corte u otra lesión de un vaso sanguíneo, este se contrae de inmediato, lo que contribuye inicialmente a detener la hemorragia (Brüel et al., 2012).

Figura 59. Sangre periférica (gallo)



Nota. Se observan trombocitos agrupados (1) entre varios glóbulos rojos (2). Nótese el citoplasma hialino de los trombocitos. Los núcleos son ovoides y su cromatina es densa. Tinción MGG. 100x. (González & Barbeito, 2014).

▪ Tejido linfoide

El tejido linfoide, también conocido como tejido reticular, se reconoce como un tipo de tejido conectivo especializado debido a su origen mesenquimal y a su composición única. Se caracteriza por presentar una matriz extracelular especializada, formada por una red tridimensional de fibras reticulares (compuestas principalmente por colágeno tipo III) y por

una sustancia fundamental que crea un microambiente ideal para el desarrollo y funcionamiento de las células del sistema inmunológico (Figuras 60 y 61).

Componentes estructurales:

- Células reticulares: Células estrelladas que sintetizan las fibras reticulares y forman una malla tridimensional.
- Células inmunitarias: linfocitos (T, B y NK), macrófagos, células dendríticas y plasmocitos.
- Fibras reticulares: finas fibras de colágeno tipo III que forman un entramado de soporte.
- Sustancia fundamental: Medio líquido que facilita el tránsito y el encuentro de células inmunitarias.

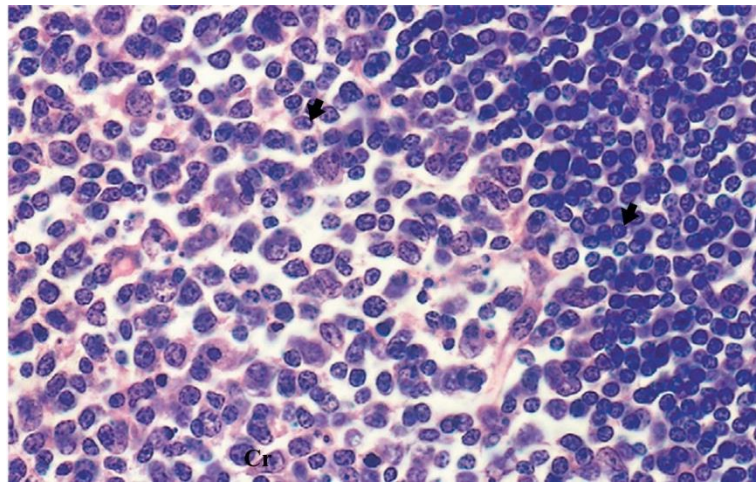
Localización en el organismo:

El tejido linfoide se distribuye estratégicamente por todo el organismo, formando: (1) órganos linfoides primarios: médula ósea y timo (donde se generan y maduran los linfocitos); (2) órganos linfoides secundarios: linfonodos (ganglios linfáticos), bazo, amígdalas y tejido linfoide asociado a mucosas (MALT); (3) distribución difusa: encontrada en tracto respiratorio, digestivo y genitourinario.

Funciones principales:

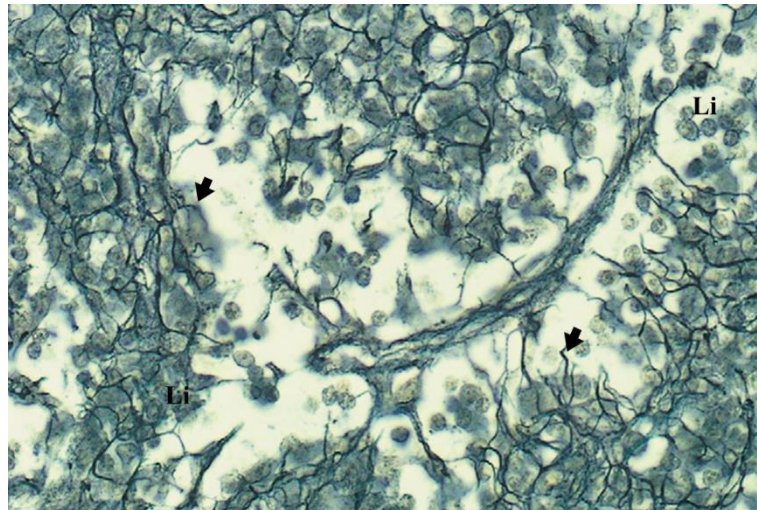
Este tejido tiene las funciones de: (1) defensa inmunológica; proporciona el microambiente ideal para la maduración, activación y proliferación de linfocitos. (2) Filtración: los linfonodos filtran la linfa, mientras que el bazo filtra la sangre; (3) Respuesta inmunitaria adaptativa: facilita el reconocimiento de antígenos y la producción de anticuerpos. (4) Memoria inmunológica: Mantiene linfocitos de memoria para respuestas futuras.

Figura 60. Nódulo linfático (cerdo)



Nota. Se muestra el tejido linfoide, compuesto por numerosas células linfoides (flecha) y células reticulares (Cr). Tinción H&E x250 (Bacha & Bacha, 2012).

Figura 61. Nódulo linfático (vaca)



Nota: Se observa el tejido linfoide en una tinción de plata y se visualizan las fibras reticulares (flechas) que sostienen a las células, en este caso, linfocitos (Li). (Bacha & Bacha, 2012)

▪ Tejido hematopoyético

El tejido hematopoyético es un tipo especializado de tejido conectivo encargado de la producción de todas las células sanguíneas del organismo. Se localiza predominantemente en la médula ósea, un tejido dinámico con una organización estructural única. La médula ósea está compuesta por una red de vasos sanguíneos convencionales y por unidades vasculares especializadas denominadas sinusoides, entre las cuales se dispone una trama esponjosa de células hematopoyéticas. En los cortes histológicos, estas células aparecen

formando "cordones" entre los sinusoides o entre estos y el tejido óseo adyacente (Pawlina, 2016).

Debido a la corta vida útil de las células sanguíneas, el organismo requiere una producción continua para mantener sus niveles adecuados. Este proceso de formación celular, conocido como hematopoyesis, ocurre en tejidos u órganos especializados. Después del nacimiento, la médula ósea se convierte en el principal sitio hematopoyético, responsable de generar eritrocitos, trombocitos, granulocitos y monocitos. Además, produce una parte de los linfocitos (linfocitos B vírgenes y linfocitos NK), mientras que el resto se desarrolla en órganos linfoides como el timo, los ganglios linfáticos y el bazo. La formación de células sanguíneas en la médula ósea se denomina mielopoyesis.

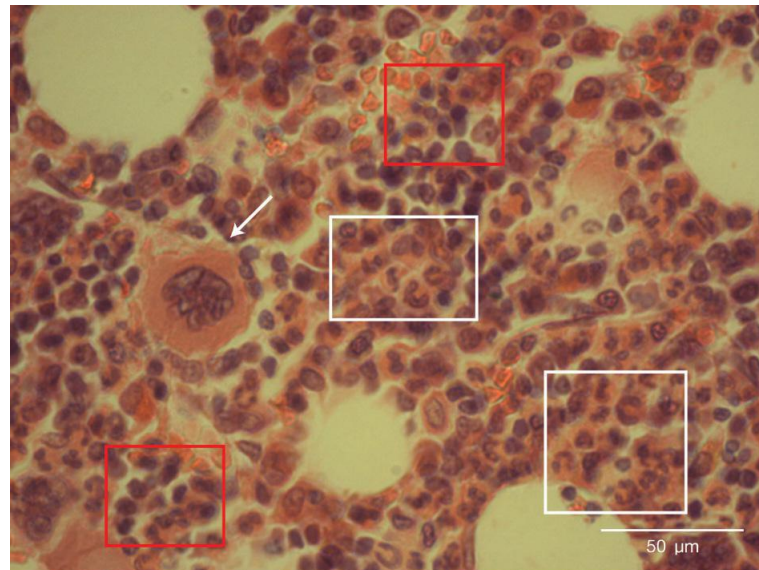
Los órganos hematopoyéticos presentan un estroma de tejido conectivo reticular (a excepción del timo, cuyo estroma es retículo epitelial sin fibras). En este entorno convergen adipocitos, fibroblastos, macrófagos y células endoteliales, junto con una gran cantidad de células libres, entre las que destacan las células sanguíneas y sus precursores inmaduros (Brüel et al., 2012).

La organización espacial de la hematopoyesis en la médula ósea roja activa refleja una especialización funcional precisa. Los cordones hematopoyéticos contienen diversos tipos celulares dispuestos en nidos específicos: los nidos eritropoyéticos, asociados a macrófagos centrales, se localizan cerca de los sinusoides; los megacariocitos se sitúan adyacentes a la pared sinusoidal para facilitar la liberación de plaquetas; y los nidos granulopoyéticos se desarrollan en zonas más alejadas y migran hacia los sinusoides al alcanzar la madurez. Esta distribución optimiza los procesos de diferenciación y de liberación celular.

La médula ósea presenta dos variedades principales según su estado funcional: la médula roja, hematopoyética activa, y la médula amarilla, inactiva y dominada por adipocitos. En los adultos, la médula roja persiste principalmente en huesos planos, como costillas, vértebras y pelvis, mientras que la médula amarilla caracteriza a los huesos largos de las extremidades. Es importante destacar que la médula amarilla conserva su potencial hematopoyético y puede reconvertirse en médula roja ante estímulos como las

hemorragias graves, mediante la expansión del tejido hematopoyético y la repoblación con células progenitoras circulantes (Pawlina, 2016).

Figura 62. Médula ósea (ratón)



Nota. Los recuadros rojos bordean los nidos rojos, donde las células patognomónicas son los normoblastos. Los recuadros blancos bordean los nidos blancos, donde las células patognomónicas son los metamielocitos con sus característicos núcleos en cayado. La flecha blanca señala un megacariocito. Obsérvese la disposición de los nidos rojos (cercanos a los capilares sanguíneos) y de los nidos blancos (alejados de los capilares sanguíneos). Tinción H&E (Brusco et al., 2014).

Célula madre

Las células madre hematopoyéticas pluripotenciales son responsables de generar todos los tipos de células sanguíneas gracias a su capacidad de autorreplicación y de diferenciación. Aunque pueden autorrenovarse, también dan lugar a células madre unipotenciales, que pierden la pluripotencialidad y se especializan en una única línea celular.

La identificación de estas células y sus derivados se basa en criterios morfológicos, como el tamaño, la forma, las propiedades tintoriales, las características nucleares y la presencia de gránulos (Figura 62). Sin embargo, los estadios inmaduros son difíciles de reconocer incluso con microscopía avanzada, ya que las células madre suelen ser pequeñas, esféricas, con citoplasma escaso y cromatina laxa, semejantes a linfocitos pero con polirribosomas prominentes.

Estas células proliferan lentamente y generan células madre unipotenciales (llamadas unidades formadoras de colonias), las cuales se multiplican rápidamente y se restringen a producir una línea celular específica (Brusco et al., 2014).

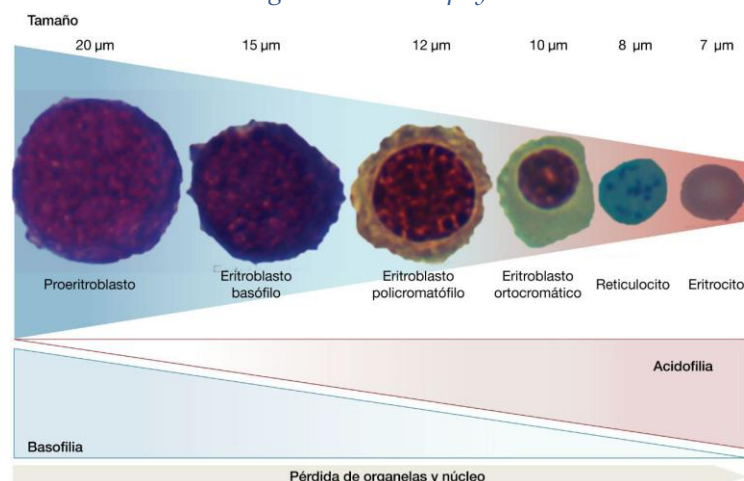
Eritropoiesis (Formación de eritrocitos)

La eritropoyesis es el proceso de producción de eritrocitos (glóbulos rojos) a partir de células madre hematopoyéticas. Su objetivo es mantener niveles adecuados de eritrocitos para el transporte de oxígeno. Las etapas son:

- Proeritroblasto: Célula grande con núcleo redondo y citoplasma basófilo, rico en ARN.
- Eritroblasto basófilo: Síntesis inicial de hemoglobina activa; citoplasma intensamente basófilo.
- Eritroblasto policromatófilo: Acumulación de hemoglobina (citoplasma de tonalidad rosado-azulada).
- Eritroblasto ortocromático: Núcleo picnótico (condensado); citoplasma acidófilo debido a la alta concentración de hemoglobina.
- Reticulocito: Expulsión del núcleo; retiene residuos de ARN (visible con tinciones especiales).
- Eritrocito maduro: Célula anucleada de forma discoidal bicóncava (en mamíferos).

Regulación: La eritropoyetina (EPO), producida en el riñón ante la hipoxia, estimula la diferenciación y la maduración eritrocitarias.

Figura 63. Eritropoyesis



Nota. En el esquema se muestran fotomicrografías ópticas de la progenie eritrocítica teñida con May-Grünwald-Giemsa (salvo el reticulocito, que está teñido con violeta de cresilo). En el esquema se representa la disminución del tamaño celular, así como los cambios de coloración citoplasmática que presentan las células en los distintos estadios (Brusco et al., 2014).

Leucopoyesis (Formación de leucocitos)

La leucopoyesis abarca la producción de todos los leucocitos (glóbulos blancos) y se divide en líneas específicas:

a) Granulopoyesis (Formación de granulocitos)

- Mieloblasto: Célula indiferenciada con núcleo redondo y citoplasma basófilo.
- Promielocito: Aparecen gránulos inespecíficos primarios.
- Mielocito: Desarrollo de gránulos específicos según la línea:
 - Neutrófilos: gránulos finos y pálidos.
 - Eosinófilos: gránulos grandes acidófilos.
 - Basófilos: gránulos basófilos gruesos.
- Metamielocito: Núcleo en herradura (neutrófilos) o arriñonado.
- Célula en banda: etapa final previa a la maduración (solo en neutrófilos).
- Granulocito maduro: núcleo segmentado (polimorfonuclear).

b) Monocitopoyesis (Formación de monocitos)

- Monoblasto: célula precursora con núcleo ovalado.
- Promonocito: Núcleo indentado y gránulos azurófilos incipientes.
- Monocito maduro: liberado a la sangre; migra hacia los tejidos para diferenciarse en macrófagos.

c) Linfocitopoyesis (Formación de linfocitos)

- Progenitor linfoblástico: Se diferencia en líneas B, T o NK.
- Linfocitos B: Maduran en la médula ósea (o en la bolsa de Fabricio en aves).
- Linfocitos T: Maduran en el timo.
- Linfocitos NK: derivados de progenitores linfoides comunes.

Regulación: Citocinas como G-CSF (neutrófilos), M-CSF (monocitos) e IL-7 (linfocitos).

Trombopoyesis (Formación de plaquetas)

La trombopoyesis produce plaquetas a partir de megacariocitos en la médula ósea:

- Megacarioblasto: Célula precursora grande con núcleo lobulado.
- Megacariocito: Célula gigante poliploide (núcleo con hasta 64N); presenta un citoplasma abundante con gránulos azurófilos.
- Liberación de plaquetas: El citoplasma del megacariocito se fragmenta en proplaquetas, que se liberan en los sinusoides medulares.
- Plaqueta madura: Fragmento celular anucleado con gránulos que contienen factores de coagulación.

Regulación: La trombopoyetina (TPO), producida en el hígado, estimula la maduración megacariocítica.

Sección 3

Tejido muscular

El tejido muscular es uno de los cuatro tejidos básicos del organismo y se especializa en la contracción, lo que lo hace fundamental para el movimiento. Este tejido participa no solo en el desplazamiento del cuerpo, sino también en el funcionamiento de diversos órganos internos. Se clasifica en tres tipos: músculo esquelético, cardíaco y liso. Cada uno presenta características estructurales y funcionales particulares. El músculo esquelético permite el movimiento de los huesos y otras estructuras mediante contracciones voluntarias. El músculo cardíaco, exclusivo del corazón, se contrae de manera rítmica e involuntaria para impulsar la sangre a través del sistema circulatorio. Por su parte, el músculo liso forma parte de la pared de órganos como el estómago, el útero, la vejiga y otros órganos viscerales; su contracción modifica la forma de estos órganos, facilitando funciones esenciales como la digestión, la micción o el parto.

a. Tejido muscular estriado voluntario

El músculo esquelético es un tejido excitable y contráctil, cuya función principal es mantener la postura y permitir el movimiento de las órbitas, así como de los esqueletos apendiculares y axiales. Se adhiere a los huesos y las órbitas mediante los tendones. El término "excitable" se refiere a la capacidad del tejido para responder a estímulos mediante señales eléctricas, mientras que "contráctil" implica la capacidad de generar fuerza mediante la contracción (Mo et al., 2023).

La unidad estructural y funcional básica del tejido muscular esquelético es la fibra muscular, una célula multinucleada y alargada que se organiza en haces o fascículos. Cada músculo está rodeado por una capa de tejido conectivo denominada epimisio, que se entrelaza con la fascia muscular circundante. El epimisio se extiende hacia el interior del músculo y rodea los fascículos, cubriéndolos con una capa más delgada, el perimisio. Este último continúa en una fina vaina de fibras reticulares, el endomisio, que rodea cada fibra muscular. Junto con los glucosaminoglucanos, las fibras reticulares contribuyen a la formación de una lámina externa alrededor de cada fibra muscular (Brüel et al., 2012).

Las fibras musculares tienen un diámetro que varía entre 10 y 110 μm y pueden alcanzar longitudes de hasta 50 cm (Eurell & Frappier, 2006). Estas fibras son el resultado de la fusión de varios mioblastos mononucleados durante la etapa prenatal, lo que da como resultado una célula muscular esquelética con múltiples núcleos ovalados localizados en la periferia de la célula. Según Banks (1996), estas fibras presentan estriaciones transversales, compuestas por bandas claras y oscuras dispuestas en paralelo al eje longitudinal de la fibra muscular (Figuras 65 y 66). Las fibras musculares están acompañadas de células satélites, situadas entre la lámina externa y el sarcolema. Estas células precursoras son responsables de la capacidad regenerativa del tejido muscular, aunque su pequeño tamaño citoplasmático y su ubicación periférica pueden hacer que se confundan con los núcleos de las fibras musculares (Mo et al., 2023).

Existen tres tipos principales de fibras musculares:

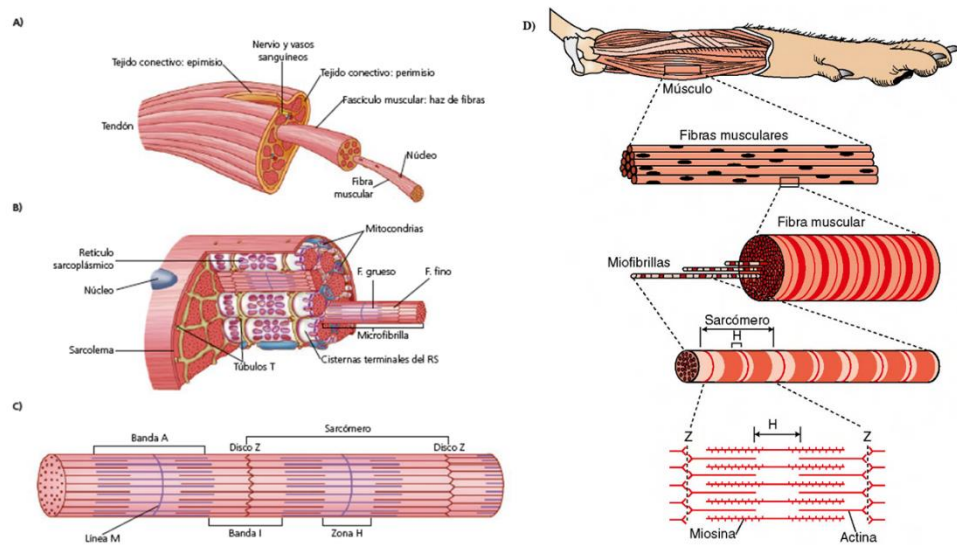
- Tipo I: Utiliza el metabolismo aeróbico y presenta un color rojo debido a su alta concentración de mioglobina. Son de contracción lenta y altamente resistentes a la fatiga.
- Tipo IIa: Obtienen energía mediante la glucólisis oxidativa y presentan una mayor cantidad de glucógeno que las fibras tipo I. Son de contracción rápida y resistentes a la fatiga.
- Tipo IIb: Utilizan la glucólisis anaeróbica para generar energía, presentan color rosado, son de contracción rápida y son propensos a la fatiga (Mo et al., 2023).

Los músculos esqueléticos se fijan al esqueleto mediante los tendones. La transición entre músculo y tendón, conocida como transición musculotendinosa, se caracteriza por un aumento del espesor y del contenido de fibras colágenas en el tejido conectivo muscular, que incluye el endomisio, el perimisio y el epimisio (Brüel et al., 2012).

Un músculo esquelético (Figura 64) está compuesto por haces de fibras musculares, llamados fascículos, y cada fascículo contiene un conjunto de fibras musculares alargadas. La fibra muscular está formada por un conjunto de unidades longitudinales denominadas miofibrillas, que a su vez están compuestas por dos tipos de miofilamentos: los filamentos gruesos de miosina y los filamentos delgados de actina. Los miofilamentos están organizados de manera específica, lo que confiere a

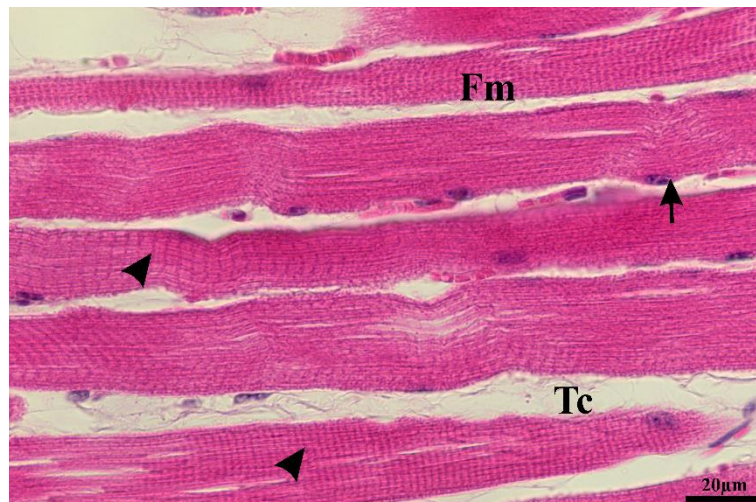
la miofibrilla y a la fibra muscular un aspecto estriado, caracterizado por estriaciones transversales. La unidad funcional de la miofibrilla es el sarcómero, que se extiende en ambas direcciones desde una línea Z hasta la siguiente. La banda A corresponde a la extensión de los filamentos de miosina, y los filamentos de actina se extienden desde la línea Z hasta la región de la banda A, donde se entrelazan con los filamentos de miosina (Pawlina & Ross, 2020).

Figura 64. Representación esquemática de un músculo esquelético



Nota. A) Músculo esquelético con vainas de tejido conectivo. Epimisio y perimisio: los fascículos y los haces de fibras musculares. B) Fibra muscular esquelética. Miofibrillas, retículo sarcoplásmico, sistema de túbulos T y mitocondrias. C) Patrón de estriaciones y bandas del sarcómero (2-2,5 μm) (García, 2018). D) El músculo esquelético normal presenta varios niveles de organización. Se asignan las letras H y Z a las bandas observadas al examinar el músculo esquelético al microscopio. (Klein, 2014).

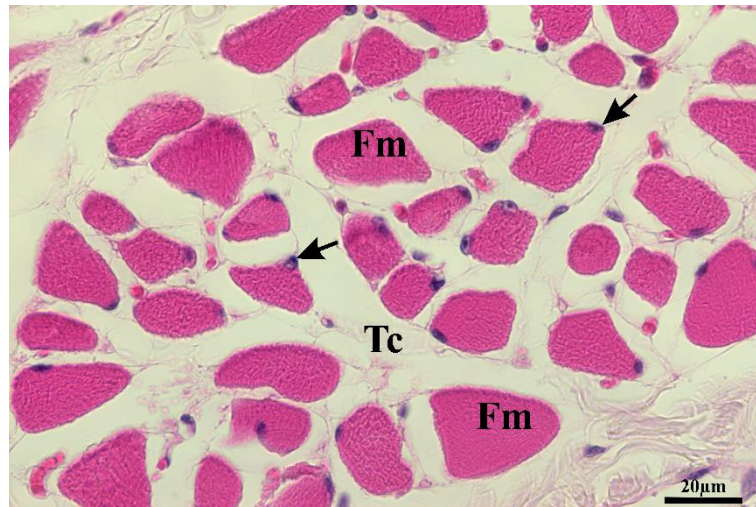
Figura 65. Lengua corte longitudinal (cuy)



Nota. Lengua (cuy). Se muestran las fibras musculares estriadas (Fm) en corte longitudinal. Se ven las estriaciones transversales (punta de flecha negra), los núcleos a la periferia de

las células musculares (flecha) y el tejido conectivo (Tc). Barra: 20 μ m. H&E. Archivo del Laboratorio de Histología y Patología, Medicina Veterinaria, UNSAAC.

Figura 66. Lengua corte transversal (cuy)



Nota. Se muestran las fibras musculares (Fm) en corte transversal. Se ven los núcleos en la periferia de las células musculares (flecha); el tejido conectivo (Tc), en el que hay capilares sanguíneos. Barra: 20 μ m. H&E. Archivo del Laboratorio de Histología y Patología, Medicina Veterinaria, UNSAAC.

b. Tejido muscular estriado involuntario

El músculo cardíaco presenta ciertas similitudes con el músculo esquelético. Por ejemplo, ambos son tejidos estriados. Sin embargo, también existen diferencias importantes: el músculo cardíaco es involuntario, es decir, su actividad está controlada por el sistema nervioso autónomo. Según Banks (1996), el músculo cardíaco posee seis características morfológicas que facilitan su identificación:

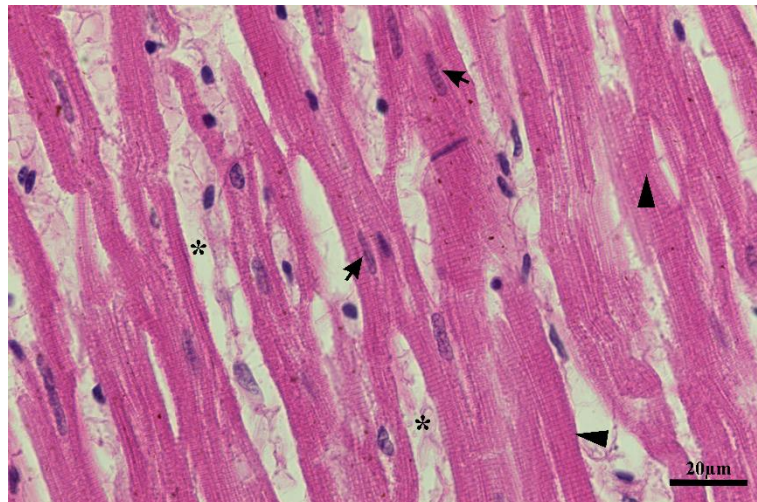
1. Las fibras del músculo cardíaco se ramifican (anastomosan); en un corte histológico cualquiera puede observarse fibras seccionadas en sentido longitudinal, transversal u oblicuo (Figura 67).
2. El tejido conectivo que rodea cada fibra muscular cardíaca es evidente.
2. El núcleo de las células del músculo cardíaco se localiza en posición central y está rodeado por una zona pálida de citoplasma, denominada halo perinuclear (Figura 68).
3. El citoplasma de estas células contiene miofilamentos dispuestos de manera similar a los del músculo esquelético. Sin embargo, los paquetes de miofilamentos reflejan la ramificación característica de las fibras cardíacas.

4. Aunque las estriaciones se aprecian con claridad en el músculo esquelético, en el cardíaco resultan menos evidentes.
5. Están presentes los discos intercalares, estructuras transversales que se tiñen de tonos oscuros y se distribuyen a lo largo del músculo cardíaco. Estos discos marcan los puntos de unión término-terminal entre fibras musculares contiguas.

Como ya se mencionó, el disco intercalar es el sitio de unión entre las células musculares cardíacas. Estos discos están formados por un conjunto de uniones célula-célula especializadas, que permiten la coordinación estructural y funcional del tejido. De acuerdo con Pawlina & Ross (2020), los componentes del disco intercalar pueden describirse de la siguiente manera:

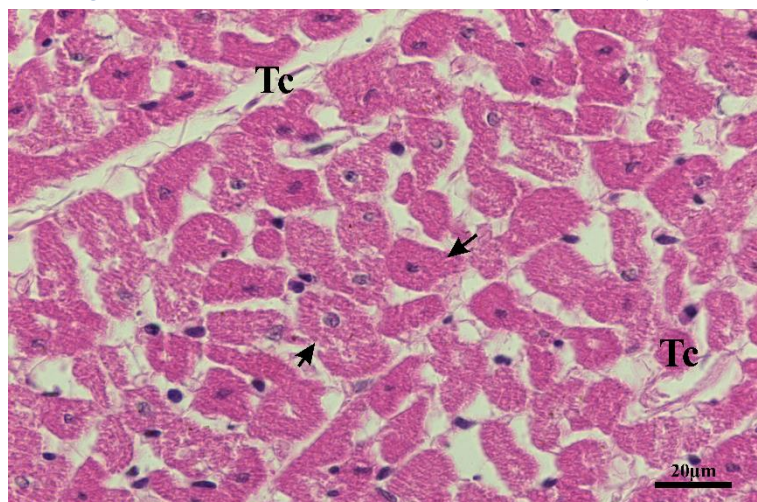
- Fascia adherens (unión de adherencia): Constituye el principal componente transversal del disco intercalar y es responsable de su visibilidad en preparaciones teñidas con H&E. Su función es mantener unidas las células musculares cardíacas en sus extremos, formando así una fibra muscular funcional. La fascia adherens sirve como sitio de anclaje para los filamentos delgados del sarcómero terminal y, desde el punto de vista funcional, es análoga a la zónula adherens de los epitelios, donde también se insertan filamentos de actina.
- Maculae adherentes (desmosomas): Estas uniones refuerzan la fascia adherens y mantienen unidas las células musculares individuales, evitando su separación durante las contracciones repetidas. Se encuentran tanto en el componente transversal como en el lateral de los discos intercalares.
- Uniones de hendidura (uniones de comunicación): constituyen el componente principal de la porción lateral del disco intercalar. Estas uniones permiten la continuidad iónica entre las células cardíacas y facilitan el paso de macromoléculas de información de una célula a otra. Este intercambio permite que las fibras musculares cardíacas funcionen como un sincitio, aunque cada célula conserva su individualidad. La disposición lateral de estas uniones las protege de las tensiones generadas durante la contracción.

Figura 67. Músculo cardíaco corte longitudinal (alpaca)



Nota. Se muestran las fibras musculares del miocardio en corte longitudinal. Se ven las estriaciones transversales (punta de flecha negra), los núcleos de las células cardíacas (flecha) y el tejido conectivo (*). Barra: 20 μm. H&E. Archivo del Laboratorio de Histología y Patología, Medicina Veterinaria, UNSAAC.

Figura 68. Músculo cardíaco corte transversal (alpaca)



Nota. Se muestran las fibras musculares del miocardio en corte transversal. Se ven las células cardíacas con sus núcleos centrales (flecha), el tejido conectivo (Tc) que está alrededor de las células musculares y vasos sanguíneos. Barra: 20 μm. H&E. Archivo del Laboratorio de Histología y Patología, Medicina Veterinaria, UNSAAC.

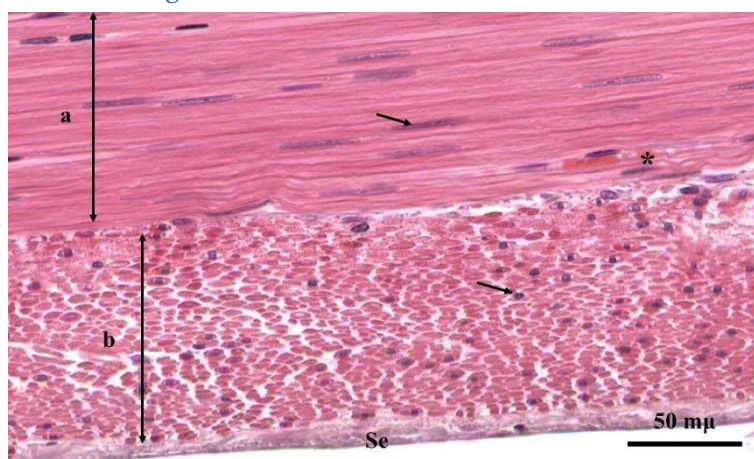
c. Tejido muscular liso

El tejido muscular liso está formado por fibras musculares de forma ahusada, que se agrupan en láminas o haces. Este tejido se localiza en las paredes de la mayoría de los órganos del tubo digestivo y es responsable de los movimientos peristálticos. En las vías respiratorias participa en la regulación del calibre de los conductos, mientras que en el sistema urinario, especialmente en la vejiga, contribuye al almacenamiento y al vaciamiento periódico de la orina. El aparato reproductor

femenino forma parte de la pared del útero, donde desempeña una función esencial durante el parto (Brusco et al., 2014).

Cada célula muscular lisa contiene un único núcleo ubicado en su centro (Figura 69). Estas células varían entre 5 y 20 μm de diámetro y pueden medir entre 20 μm y 1 mm, o incluso más, de longitud. El citoplasma de los miocitos lisos es acidófilo. En una sección histológica, el tamaño de las cortes transversales de las células puede ser muy variable debido a su forma cónica. Muchas secciones transversales no muestran núcleos, ya que estos se encuentran fuera del plano de corte debido a la longitud de la célula (Eurell & Frappier, 2006).

Figura 69. Musculo liso intestino (mono)



Nota. Se observa a mayor aumento la capa muscular del intestino delgado donde se puede ver el músculo liso en corte longitudinal (a) y transversal (b); en las fibras musculares lisas se observa la presencia del núcleo (flecha); entre las células musculares hay presencia de vasos sanguíneos (*); la parte más externa de la pared del intestino delgado es la serosa (Se). H&E. (Sorenson & Brelje, 2014).

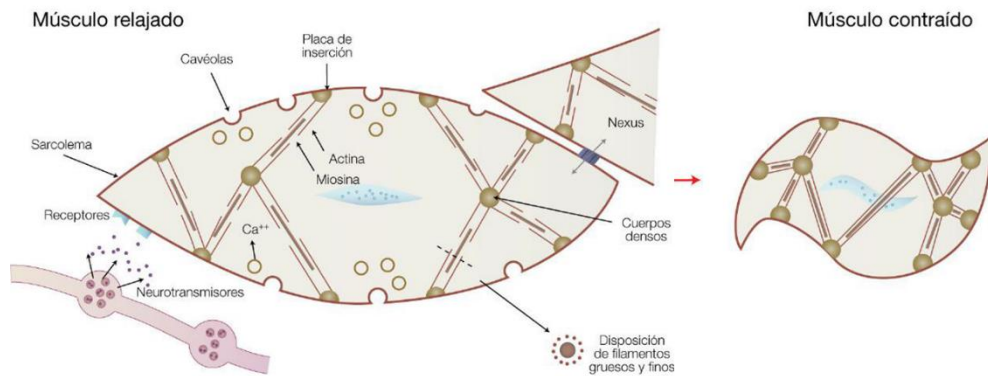
Las células musculares lisas están interconectadas mediante uniones de hendidura (nexos), que son uniones especializadas de comunicación entre células. A través de ellas, pequeñas moléculas o iones pueden pasar de una célula a otra, lo que permite sincronizar la contracción de todo un haz o de una lámina de músculo liso (Pawlina, 2016).

Estas células poseen un aparato contráctil compuesto por filamentos delgados y gruesos, así como un citoesqueleto formado por filamentos intermedios de desmina y de vimentina. Además, cuentan con cuerpos densos que actúan como sitios de anclaje para los filamentos delgados y los intermedios.

Un aspecto característico del músculo liso es la presencia de numerosas invaginaciones de la membrana celular, conocidas como caveolas (Figura 70). Bajo

la membrana plasmática, y con frecuencia cercanas a las pocas cisternas del retículo endoplásmico liso (REL), se encuentran vesículas citoplasmáticas. Se considera que estas invaginaciones y vesículas, junto con el REL, funcionan de manera análoga al sistema T del músculo estriado, facilitando la liberación de Ca^{2+} al citoplasma (Pawlina & Ross, 2020).

Figura 70. Esquema de la contracción muscular lisa



Nota. Esquema de una fibra muscular lisa en estado relajado y en estado de contracción, en el que se observa la disposición de los filamentos finos y gruesos en el sarcoplasma. Se destaca: la presencia de cavéolas, de nexos entre las fibras musculares lisas y la innervación visceral del músculo liso (Pawlina & Ross, 2020).

Sección 4

Tejido nervioso

El tejido nervioso es el cuarto tejido básico que abordaremos en este estudio. Está compuesto por dos tipos principales de células: las neuronas y las células gliales, también llamadas células de la neuroglia. Las neuronas son el tipo celular más representativo del sistema nervioso, responsables del procesamiento y la transmisión de la información. Estas células especializadas son eléctricamente excitables y capaces de emitir señales químicas hacia células blancas. La neurona posee una estructura celular característica y presenta diversas variaciones morfológicas en el organismo animal.

Por otro lado, las células gliales desempeñan funciones de soporte, protección y nutrición de las neuronas, además de participar activamente en la homeostasis del sistema nervioso. Dentro de este grupo se encuentran los astrocitos, oligodendrocitos, microglías, células ependimarias, neurolemocitos (también conocidos como células de Schwann) y anficitos. Estas células desempeñan roles fundamentales tanto en el sistema nervioso central como en el sistema nervioso periférico.

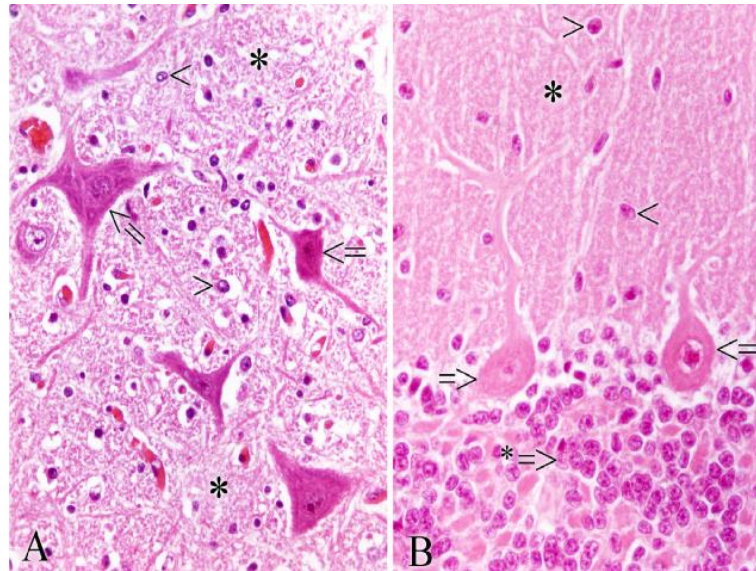
a. Neuronas

Las células nerviosas, o simplemente neuronas, son responsables de la recepción, la transmisión y el procesamiento de los estímulos. Además, ejercen influencia sobre distintas funciones del organismo mediante la liberación de neurotransmisores y de otras moléculas informativas (Junqueira & Carneiro, 2015). Aunque las neuronas presentan una gran variedad de formas, estructuralmente se componen de un cuerpo celular (citón o soma) y de prolongaciones celulares: dendritas y un axón. El pericarion es la parte del cuerpo celular que rodea al núcleo (Banks, 1996).

El pericarion constituye el centro trófico de la neurona, aunque también puede recibir estímulos. Su diámetro varía entre 4 y 5 μm y hasta 150 μm . Contiene el núcleo y el citoplasma, pero no incluye sus prolongaciones. Esta región puede recibir terminaciones nerviosas que transmiten estímulos excitatorios o inhibitorios desde

otras neuronas. En general, el núcleo neuronal es grande, contiene principalmente eucromatina y presenta un nucléolo prominente (Figura 71). En la mayoría de las neuronas, el retículo endoplásmico rugoso (RER) está muy desarrollado y forma los llamados cuerpos de Nissl (Sheedlo, 2007).

Figura 71. Neuronas

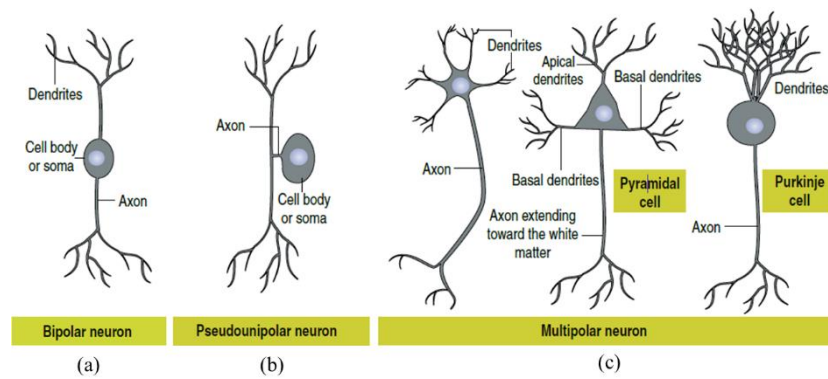


Nota. Neuronas (flecha, flecha*). Son las células especializadas en la recepción, la transformación y la conducción del impulso nervioso. Presentan morfologías y tamaños distintos según su localización. Están rodeadas de células de glía (>). Para su correcta diferenciación, es necesario realizar técnicas de impregnación argéntica de Golgi, de Cajal, etc. Neuropilo (*). A. Médula espinal. B. Células de Purkinje (flecha). Células de la capa de granos (flecha*). Cerebelo (Gómez Sánchez et al., 2024).

▪ Clasificación de las neuronas

Las neuronas pueden clasificarse según diversos criterios anatómicos y funcionales que reflejan su diversidad estructural y sus roles especializados en el sistema nervioso (Figura 72). Según el número de prolongaciones, se dividen en: multipolares (un axón y múltiples dendritas), predominantes en el sistema nervioso central, como las neuronas motoras de la médula espinal; bipolares (un axón y una dendrita en polos opuestos), especializadas en sentidos como la audición y visión; unipolares (una sola prolongación que se bifurca), raras en vertebrados; y pseudounipolares (un tronco común que se divide en ramas periférica y central), características de los ganglios sensitivos.

Figura 72. Tipos de neuronas



Nota. (a) Un solo axón emerge de cada lado del cuerpo celular. Las neuronas bipolares se encuentran en estructuras sensoriales como la retina, el epitelio olfativo y los sistemas vestibular y auditivo. (b) Un solo axón se divide a poca distancia del cuerpo celular. El axón corto de las neuronas pseudounipolares (o unipolares) se divide en dos ramas: la rama periférica transporta información desde la periferia y la rama central termina en la médula espinal. Estas células se encuentran en los ganglios sensoriales de los nervios craneales y espinales. (c) Numerosas dendritas y un único axón largo emergen del cuerpo celular. Ejemplos de neuronas multipolares son la célula piramidal de la corteza cerebral y la célula de Purkinje de la corteza cerebelosa (Kierszenbaum & Tres, 2020).

Por su longitud, las neuronas Golgi tipo I poseen axones largos que conectan regiones distantes del sistema nervioso, como las fibras corticospinales, mientras que las neuronas Golgi tipo II tienen axones cortos y actúan como interneuronas locales en áreas como la corteza cerebral o la médula espinal. Según su ubicación, las neuronas centrales se localizan en el encéfalo o médula espinal, mientras que las periféricas residen en ganglios nerviosos fuera del sistema nervioso central (Brüel et al., 2012).

Funcionalmente, las neuronas sensitivas (aférentes) transmiten información desde receptores periféricos hacia el sistema nervioso central; las motoras (eferentes) transmiten señales desde el centro hacia músculos o glándulas; y las interneuronas integran y procesan información en el sistema nervioso central, constituyendo la mayoría de las neuronas. Esta clasificación múltiple permite comprender cómo la estructura neuronal se adapta a funciones específicas en la transmisión y procesamiento de información neural (Banks, 1996).

▪ Sinapsis

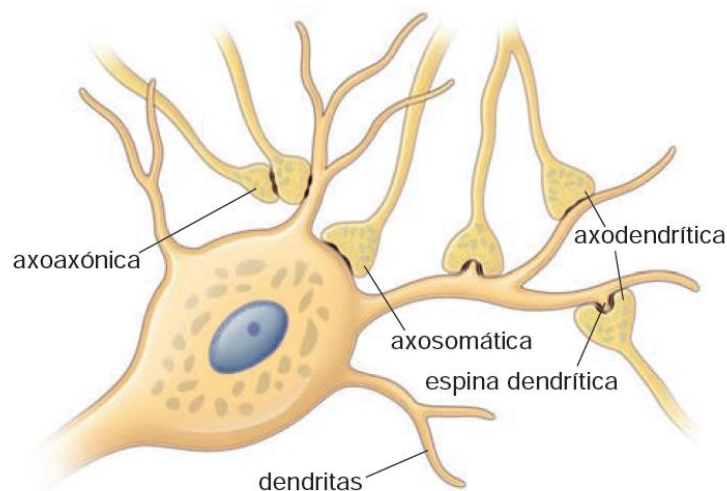
Las neuronas establecen comunicación con otras neuronas y con células efectoras (como músculos o glándulas) a través de estructuras altamente especializadas llamadas sinapsis. Estas uniones permiten la transmisión de

impulsos desde una neurona presináptica hacia una neurona postsináptica o hacia células diana. Morfológicamente, las sinapsis entre neuronas se clasifican en:

- Axodendríticas: Entre axones y dendritas, a menudo asociadas a espinas dendríticas dinámicas que participan en procesos de memoria y aprendizaje.
- Axosomáticas: Entre los axones y el cuerpo neuronal (soma).
- Axoaxónicas: Entre axones de distintas neuronas (Figura 73).

Estas estructuras no son visibles en tinciones convencionales como H&E, pero pueden observarse con métodos de impregnación argéntica (como la técnica de Golgi), donde aparecen como corpúsculos ovalados adheridos a la superficie de la neurona receptora. Un axón presináptico puede establecer múltiples contactos sinápticos a lo largo de su trayecto (botones de paso) o en su extremo (botón terminal).

Figura 73. Esquema de los tipos de sinapsis



Nota. Las sinapsis axodendríticas (las más comunes) conectan axones con dendritas, a menudo mediante espinas dendríticas asociadas a la memoria y el aprendizaje. Las sinapsis axosomáticas unen axones con cuerpos neuronales, mientras las sinapsis axoaxónicas vinculan axones entre sí, modulando la eficacia de otras sinapsis cercanas mediante mecanismos de presinapsis (Pawlina, 2016).

Características estructurales y clasificación funcional

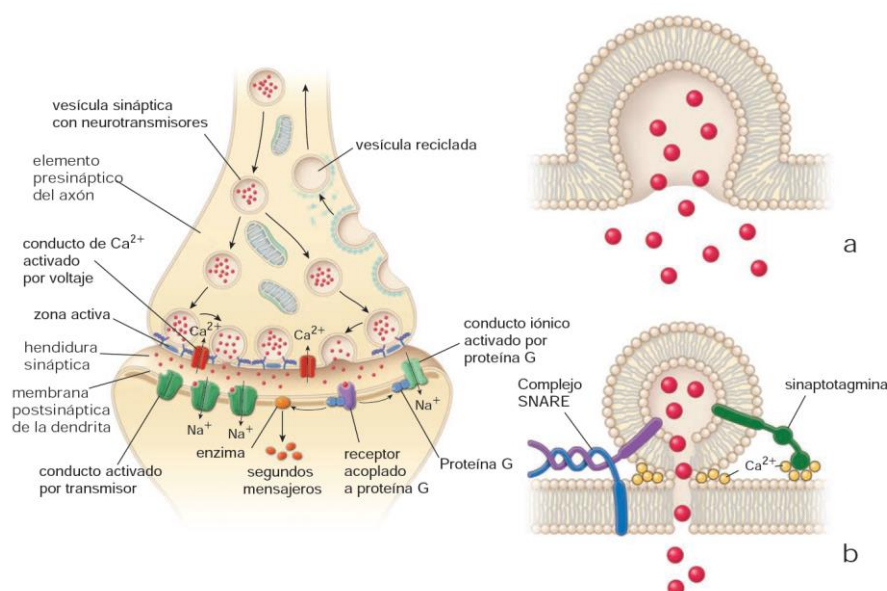
Desde el punto de vista funcional, las sinapsis se clasifican en químicas y eléctricas. Las sinapsis químicas, las más comunes en el sistema nervioso de los mamíferos, utilizan neurotransmisores almacenados en vesículas sinápticas para transmitir señales. Su estructura tripartita incluye un

elemento presináptico con vesículas que contienen neurotransmisores, una hendidura sináptica de 20-30 nm y una membrana postsináptica con receptores especializados. Por otro lado, las sinapsis eléctricas, más frecuentes en invertebrados pero presentes en ciertas células de mamíferos, emplean uniones gap que permiten el paso directo de iones entre células, facilitando una transmisión rápida y bidireccional.

Proceso de transmisión sináptica química

La transmisión en las sinapsis químicas comienza con la llegada de un impulso nervioso al botón presináptico, lo que abre canales de calcio de la membrana. La entrada de calcio desencadena un proceso en el que las vesículas sinápticas se fusionan con la membrana presináptica mediante la acción de proteínas especializadas, como las SNARE (receptor de proteína soluble de unión al factor sensible a N-etilmaleimida) y la sinaptotagmina, liberando neurotransmisores a través de la hendidura sináptica. Recientemente se ha descrito un mecanismo alternativo, denominado porocitosis, en el que las vesículas liberan su contenido a través de poros transitorios sin fusionarse por completo con la membrana presináptica (Figura 74).

Figura 74. Sinapsis



Nota. El esquema ilustra los tres componentes esenciales de esta sinapsis: el botón presináptico (con vesículas de neurotransmisores y mecanismos de reciclaje membranario), la hendidura sináptica que separa las neuronas y la membrana postsináptica dendrítica con sus receptores específicos (ionotrópicos o acoplados a proteínas G). El diagrama compara

dos modelos de liberación de neurotransmisores (a): el tradicional, por fusión completa de vesículas, y el reciente, la porocitosis, en la que se forma un poro transitorio, regulado por proteínas SNARE y sinaptotagmina, y dependiente de calcio para la liberación controlada del neurotransmisor (b). (Pawlina, 2016).

Respuesta postsináptica e integración de señales

Los neurotransmisores liberados se difunden a través de la hendidura sináptica y se unen a receptores específicos de la membrana postsináptica. Esta unión puede generar respuestas excitatorias o inhibitorias: los receptores ionotrópicos permiten el flujo de sodio, que despolariza la membrana, mientras que los receptores de neurotransmisores inhibitorios, como el GABA, facilitan la entrada de cloruro, que hiperpolariza la membrana. La neurona postsináptica integra todas estas señales mediante un proceso de sumación espacial y temporal, determinando si se genera un nuevo potencial de acción.

Importancia funcional y plasticidad sináptica

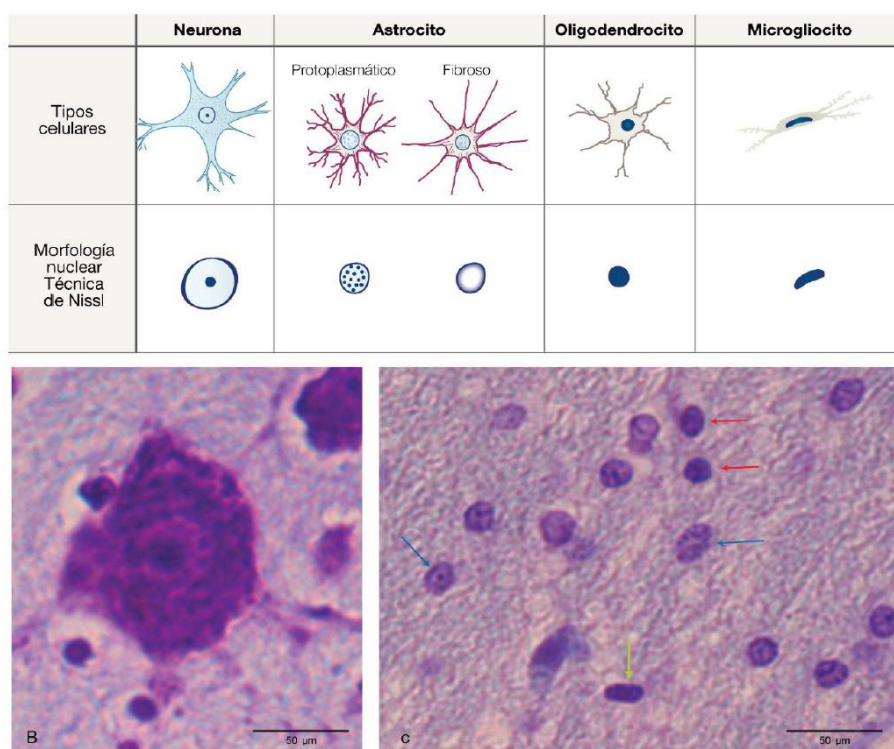
La función de las sinapsis va más allá de la mera transmisión de impulsos, ya que permiten el procesamiento y la modulación de la información neuronal. La capacidad de las sinapsis para fortalecerse o debilitarse en respuesta a la actividad (plasticidad sináptica) constituye la base celular de procesos como el aprendizaje y la memoria. Además, la modulación sináptica por neuronas adyacentes, mediante conexiones axoaxónicas o axodendríticas, añade otra capa de complejidad a la regulación de la comunicación neuronal, lo que permite al sistema nervioso adaptarse de forma continua a los cambios ambientales.

b. Células gliales

Las células gliales constituyen un conjunto de células distribuidas en el tejido nervioso cuya función es colaborar con las neuronas, brindándoles protección, soporte estructural y nutrición, según refieren diversos autores (véase Tabla 11). Las células gliales se dividen en dos grandes grupos: las que pertenecen al sistema nervioso central (SNC) y las que forman parte del sistema nervioso periférico (SNP). En el SNC se encuentran los astrocitos, oligodendrocitos, microglías y células ependimarias; mientras que en el SNP están presentes las células de Schwann (o neurolemocitos) y los anficitos (o células satélites).

Cada tipo de célula glial presenta características morfológicas distintivas y desempeña funciones específicas. Para su identificación en preparaciones histológicas teñidas con hematoxilina y eosina (H&E), pueden utilizarse los criterios morfológicos descritos por Brusco et al. (2014), basados en las características del núcleo de cada célula, como se muestra en la Figura 75.

Figura 75. Esquemas de los principales tipos celulares del tejido nervioso.



Nota. A) En la hilera superior se muestran las características morfológicas. En la hilera inferior se muestran las características nucleares si se tiñen con Nissl. B) Fotomicrografía de una neurona teñida con Nissl. C) Fotomicrografía de células gliales teñidas con Nissl; las flechas celestes señalan astrocitos, las rojas, oligodendrocitos, y la verde, un microglial. Obsérvese que en las células gliales sólo los núcleos se tiñen (Brusco et al., 2014).

▪ Oligodendrocitos

Los oligodendrocitos son las células responsables de la mielinización del sistema nervioso central (SNC) y se originan a partir de las células progenitoras de oligodendrocitos (OPC). Las OPC están distribuidas en todo el SNC y constituyen una población de células progenitoras adultas con capacidad migratoria y proliferativa, capaces de diferenciarse en oligodendrocitos maduros (Kuhn et al., 2019).

Al observarse con el microscopio óptico, en preparaciones teñidas mediante técnicas especiales, los oligodendrocitos se distinguen como células

pequeñas con pocas evaginaciones, en comparación con los astrocitos. A menudo, se encuentran alineados en hileras entre los axones. Cada oligodendrocito emite varias prolongaciones en forma de lengüetas que se extienden hasta los axones, donde cada una se enrolla alrededor de un segmento axonal formando un segmento internodal de mielina (Pawlina, 2016).

Por tanto, la función principal de los oligodendrocitos es la generación de mielina, una membrana especializada que se enrolla firmemente alrededor de los axones, proporcionando aislamiento y facilitando la conducción rápida del impulso nervioso (Kuhn et al., 2019).

▪ **Astroцитos**

Los astrocitos son células gliales especializadas que superan en número a las neuronas en más de cinco veces. El nombre deriva de su forma, que recuerda la de una estrella, con un cuerpo y numerosas prolongaciones que se extienden en su porción terminal, formando los denominados “pies” (Barbeito, 2022). Los astrocitos recubren de forma contigua todo el sistema nervioso central (SNC) (Sofroniew & Vinters, 2010). Forman una red celular dentro del SNC y se comunican con las neuronas para sostener y modular gran parte de sus funciones. Algunos astrocitos se extienden a lo largo de todo el espesor del encéfalo, brindando soporte a las neuronas migrantes durante el desarrollo encefálico. Otros proyectan sus evaginaciones desde los vasos sanguíneos hacia las neuronas. Los extremos de estas prolongaciones se expanden, formando los denominados pies terminales, que cubren amplias zonas de la superficie externa del vaso o del axón (Pawlina, 2016).

Existen dos tipos principales de astrocitos:

- Astrocitos fibrosos, ubicados principalmente en la sustancia blanca, se caracterizan por presentar prolongaciones más largas, menos ramificadas y menos numerosas.
- Astrocitos protoplasmáticos, localizados predominantemente en la sustancia gris, presentan prolongaciones de forma muy variable (Banks, 1996; Brüel et al., 2012).

Los astrocitos desempeñan funciones esenciales como el transporte de metabolitos y productos de desecho desde y hacia las neuronas. También

contribuyen al mantenimiento de las uniones estrechas entre los capilares que constituyen la barrera hematoencefálica (Pawlina & Ross, 2020). La barrera hematoencefálica es una estructura especializada que regula selectivamente el paso de sustancias entre la sangre y el sistema nervioso central. Su función es crucial para mantener la homeostasis del cerebro, protegiéndolo de toxinas, patógenos y fluctuaciones hormonales, mientras permite el transporte de nutrientes esenciales y de oxígeno.

Otra función destacada es su respuesta ante lesiones del SNC mediante un proceso llamado astrogliosis reactiva, considerado un sello patológico característico de las lesiones estructurales del sistema nervioso central (Sofroniew & Vinters, 2010). En investigaciones recientes se ha demostrado que los astrocitos desempeñan funciones esenciales para garantizar un entorno extracelular óptimo que favorezca la homeostasis de las neuronas. Entre estas funciones destacan la absorción de iones de potasio (K^+) del espacio extracelular y la modulación de la actividad sináptica. En el contexto de la sinapsis, estas células participan activamente en la eliminación de neurotransmisores excedentes (evitando así posibles efectos neurotóxicos) y liberan moléculas que alteran las propiedades de las membranas neuronales. Además, producen factores tróficos que favorecen la supervivencia tanto de las neuronas como de otras células gliales (Barbeito 2022).

▪ **Microglías**

Las microglías son células fagocíticas que constituyen normalmente alrededor del 5 % de las células gliales del SNC adulto. Sin embargo, proliferan y adoptan una forma fagocítica activa (microglía reactiva) en regiones lesionadas o enfermas (Pawlina, 2016). Su cuerpo celular presenta numerosos procesos cortos.

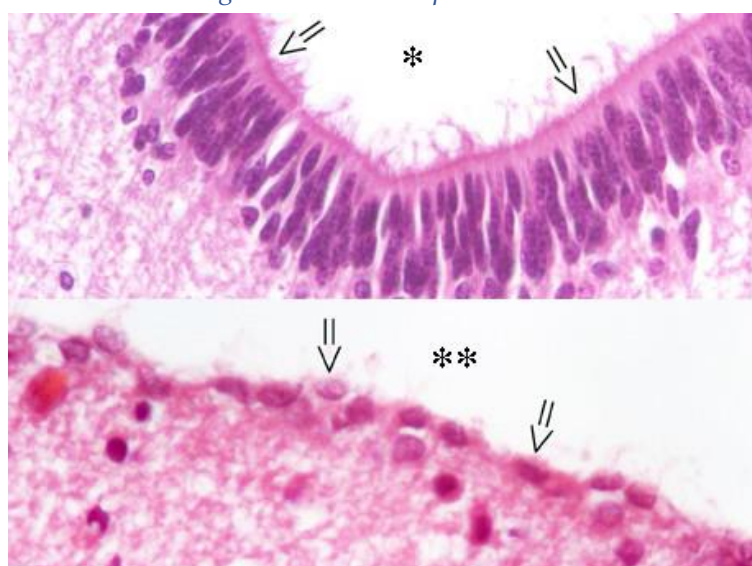
Estas células forman parte del sistema macrofágico, ya que realizan fagocitosis ante lesiones leves. En casos de daño mayor, los macrófagos provenientes del sistema circulatorio migran al área afectada y asumen funciones similares a las de las microglías (Banks, 1996).

■ Células endimarias

Las células endimarias se originan del revestimiento de la pared interna del tubo neural y permanecen en su lugar de origen durante toda la vida (Liebich, 2019). Suelen presentar forma cuboidal o columnar, con numerosos cilios móviles en su superficie apical (Eurell & Frappier, 2006). Estas células forman el epitelio que reviste los ventrículos del sistema nervioso central (SNC) y el conducto central de la médula espinal (Figura 76).

Las células endimarias cumplen funciones importantes en la circulación y la depuración del líquido cefalorraquídeo (LCR), así como en el transporte de metabolitos. Estas funciones se facilitan por las microvellosidades y los cilios presentes en su superficie apical (Liebich, 2019). Además, están unidas entre sí mediante zonulae adherens y uniones comunicantes situadas cerca de sus bordes luminales (Eurell & Frappier, 2006).

Figura 76. Células endimarias

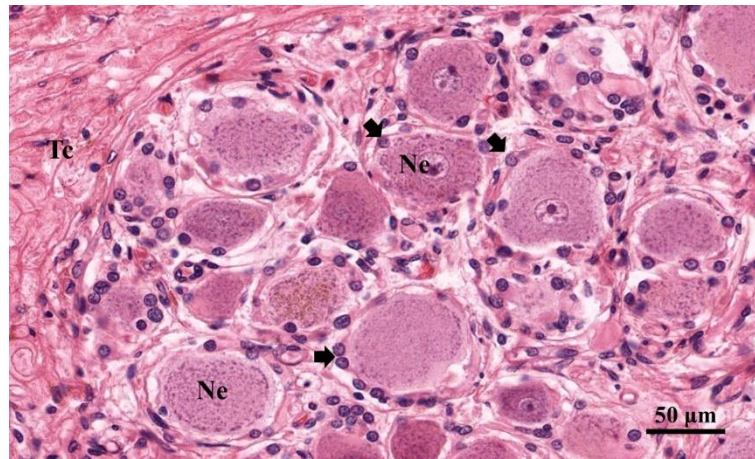


Nota. Las células endimarias (flechas) son células de aspecto cilíndrico o cúbicas que revisten el canal del epéndimo en la médula espinal (*), los ventrículos cerebrales (**) y los plexos coroideos (Gómez Sánchez et al., 2024).

■ Anfíitos

Los anfíitos, también conocidos como células satélites (Banks, 1996), pertenecen al grupo de las neuroglías ganglionares, ya que se asocian a las neuronas ganglionares, las cuales rodean estrechamente (Figura 77). Su función principal es proporcionar soporte físico, protección y nutrición a dichas neuronas.

Figura 77. Ganglio dorsal



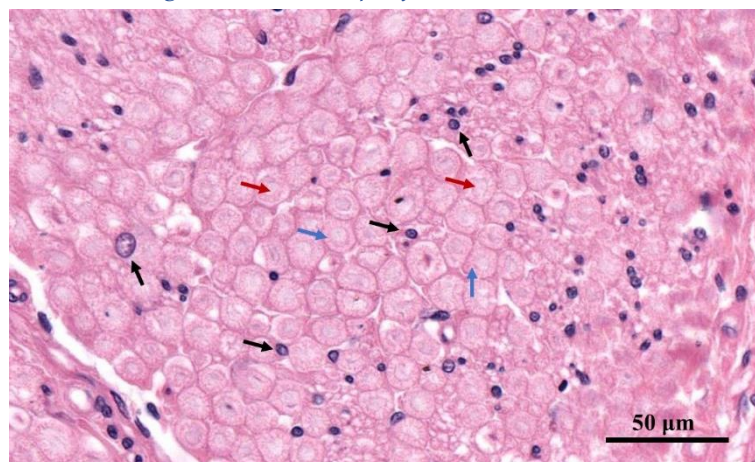
Nota. Se muestran las neuronas ganglionares (Ne) y, alrededor de estas, las células satélite o anficitos (fechas); el tejido conectivo (Tc). Tinción H&E. Barra 50 μ m. (Sorenson & Brelje, 2014).

■ Células de Schwann

También denominadas neurolemocitos (Eurell & Frappier, 2006) o células del neurilema (Banks, 1996), las células de Schwann se localizan en los nervios periféricos y acompañan a los axones neuronales. Su función principal es recubrir y mielinizar dichos axones.

Los neurolemocitos crean un entorno protegido e inmediato para las neuronas del sistema nervioso periférico (SNP) y resultan esenciales para la función y la supervivencia axonal. Cada célula de Schwann está rodeada por una lámina basal. En caso de daño nervioso, estas células pueden proliferar y adoptar un comportamiento fagocítico (Eurell & Frappier, 2006).

Figura 78. Nervio periférico (ser humano)



Nota. Se muestra el corte transversal del nervio, donde se observan numerosos axones (flecha roja) rodeados de la vaina de mielina (flecha azul). La vaina de mielina está formada por las

células de Schwann, cuyos núcleos están señalados con flechas negras. Tinción H&E. Barra 50 µm. (Sorenson & Brelje, 2014).

Tabla 11. Células gliales

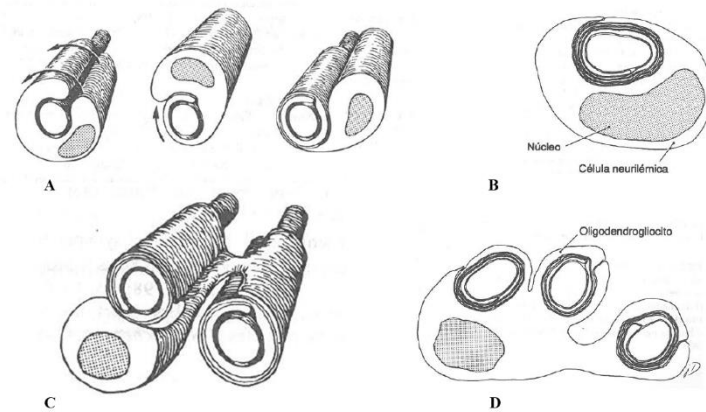
Tipo celular	Localización	Función principal	Origen embriológico	Características morfológicas
Oligodendrocito	SNC (materia blanca y gris)	Mielinización de axones (varios axones por célula)	Neuroectodermo	Células pequeñas, extensiones finas que se enrollan alrededor de axones
Astrocito	SNC (perineuronal y perivascular)	Soporte estructural, barrera hematoencefálica, homeostasis iónica	Neuroectodermo	Células estrelladas con prolongaciones, expresan GFAP
Célula Ependimaria	Ventrículos cerebrales y canal central de médula espinal	Producción y circulación de LCR	Neuroectodermo	Células cúbicas o columnares con cilios y microvellosidades
Microglía	SNC (distribuida en parénquima)	Defensa inmunológica, fagocitosis de desechos y patógenos	Mesodermo (macrófagos)	Células pequeñas, forma ramificada (reposo) o ameboides (activadas)
Célula de Schwann	SNP (nervios periféricos)	Mielinización de axones (1 célula por axón), regeneración axonal	Cresta neural	Células alargadas que envuelven axones formando vainas de mielina
Célula Satélite	SNP (ganglios sensitivos y autónomos)	Soporte metabólico a neuronas ganglionares	Cresta neural	Células aplanadas que envuelven somas neuronales

c. Fibras mielínicas

Las fibras mielínicas se caracterizan por presentar un axón recubierto por una vaina de mielina, una estructura lipoproteica formada por el enrollamiento concéntrico de la membrana plasmática de células especializadas: las células de Schwann en el sistema nervioso periférico (SNP) y los oligodendrocitos en el sistema nervioso central (SNC). Esta vaina, compuesta predominantemente por lípidos (colesterol, fosfolípidos, esfingomielina, glicolípidos y cerebrósidos) en un 80% y

proteínas (como la proteína básica de mielina y el proteolípido) en el resto, presenta interrupciones periódicas llamadas nodos de Ranvier. La mielina permite una conducción saltatoria del impulso nervioso, en la que la señal "salta" entre nodos, acelerando significativamente la velocidad de transmisión neuronal (Barbeito & Diessler, 2022; Brusco et al., 2014).

Figura 79. Esquema de mielinización



Nota. Mielinización de los sistemas nervioso periférico (A) y central (C), también se muestra la relación con las células neurilémicas de cada sistema (B y D). Fuente: (Pawlina, 2020)

Conclusión

La obra Histología Veterinaria Básica ha culminado su recorrido didáctico al establecer firmemente la histología como una ciencia fundacional e integradora dentro del currículo de medicina veterinaria. Este texto ha cumplido el objetivo de estudiar la estructura y ultraestructura de las células, los tejidos y su organización para conformar los distintos sistemas y aparatos del organismo animal. La disciplina se posiciona como una parte esencial del Módulo de Formación Básica, desarrollando el conocimiento del organismo animal a un nivel microscópico, lo cual la sitúa como la continuación lógica y analítica de la Anatomía macroscópica.

El núcleo conceptual de la guía de estudio radica en el vínculo morfofuncional, que es la capacidad de relacionar la estructura microscópica normal con la función biológica. Este enfoque es fundamental, ya que transforma la histología de una materia meramente descriptiva en la base explicativa de la fisiología. Al comprender cómo los tejidos especializados y no especializados, como el epitelial, el muscular estriado, el nervioso o el tejido conjuntivo, están organizados, el estudiante adquiere una comprensión sólida de cómo se ejecutan las funciones orgánicas. El recorrido temático ha guiado al lector desde los conceptos de citología y los orígenes históricos de la disciplina, pasando por la exploración sistemática de los cuatro tejidos primarios y el tejido sanguíneo, hasta abordar la compleja organización organográfica de sistemas como el cardiovascular, linfático, digestivo y reproductor.

El dominio de la Histología Veterinaria demuestra la adquisición de conocimientos sólidos sobre la estructura y función de los animales sanos. Este proceso de formación integrado es indispensable, ya que un diagnóstico diferencial certero en la práctica clínica se basa en la capacidad del profesional para integrar esta información multiescala: desde el órgano palpable a nivel macroscópico hasta la ultraestructura celular. Además, el texto ha inculcado la maestría nomenclatural, dotando al estudiante de la terminología técnica específica necesaria. La precisión en la expresión técnica es crítica, ya que el rigor diagnóstico y la comunicación científica fluida dependen directamente del uso adecuado del lenguaje disciplinar.

El diseño del libro está optimizado pedagógicamente para demostrar la relevancia inmediata de la microscopía en la vida diaria del veterinario. La inclusión estratégica de

cuadros de correlación clínica a lo largo del texto tiene por objeto mostrar las aplicaciones clínicas de la histología y reforzar la idea de que esta disciplina es un pilar fundamental de la práctica clínica, no solo de la patología y la fisiología. La Histología Veterinaria Básica no es meramente una asignatura del plan de estudios; es la llave para desvelar la complejidad oculta del organismo animal y la disciplina que fundamenta la competencia diagnóstica. Este texto ha proporcionado los conocimientos esenciales para que el futuro profesional pueda transformar la observación microscópica en una herramienta clínica efectiva.

El conocimiento histológico es el requisito indispensable para la excelencia diagnóstica y terapéutica. El dominio de la estructura normal es lo que faculta al veterinario para identificar la desviación patológica, interpretar informes diagnósticos complejos y tomar decisiones informadas para el bienestar del paciente. Se exhorta al lector a trascender la memorización y a integrar la comprensión de que cada patología, disfunción y respuesta terapéutica se origina y se manifiesta a nivel celular y tisular. El dominio de la Histología Básica es, por lo tanto, el primer y más crucial paso hacia el ejercicio competente, riguroso y ético de la medicina veterinaria moderna.

Bibliografía

- Adil, M. S., Narayanan, S. P., & Somanath, P. R. (2021). Cell-cell junctions: structure and regulation in physiology and pathology. *Tissue Barriers*, 9(1), 1848212. <https://doi.org/10.1080/21688370.2020.1848212>
- Allen, H. C., & Sharma, P. (2022). Histology, Plasma Cells. *StatPearls*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK556082/>
- Alonso de León, M. (2009). *Manual de histología general veterinaria* (Editorial Universitaria, Ed.). <https://elibro.net/es/ereader/unsaac/71371>
- Aughey, E., & Frye, F. (2001). *Comparative veterinary histology with clinical correlates* (Manson Publishing & The Veterinary Press, Eds.).
- Bacha, W., & Bacha, L. (2012). *Color atlas of Veterinary Histology* (Wiley-Blackwell, Ed.; 3rd ed.).
- Banks, W. (1996). *Histología veterinaria aplicada* (Manual Moderno, Ed.; 2.^a ed.).
- Barbeito, C., & Diessler, M. (2022). *Introducción a la Histología Veterinaria* (Editorial de la Universidad Nacional de La Plata, Ed.). <https://libros.unlp.edu.ar/index.php/unlp/catalog/book/2165>
- Borregaard, N., Sørensen, O. E., & Theilgaard-Mönch, K. (2007). Neutrophil granules: a library of innate immunity proteins. *Trends in Immunology*, 28(8), 340–345. <https://doi.org/10.1016/j.it.2007.06.002>
- Breeland, G., Sinkler, M. A., & Menezes, R. G. (2025). *Embryology, Bone Ossification*.
- Brüel, A., Ilso, E., Qvortrup, K., & Geneser, F. (2012). *Geneser Histología* (Médica Panamericana, Ed.; 4. ed.).
- Brusco, H. A., López, J. J., & Loidl, C. F. (2014). *Histología médico-práctica* (Elsevier, Ed.; Primera).
- Chavez, J., & Zynger, D. (2023). *Pathology Outlines - Anatomy & histology-male urethra*. <https://www.pathologyoutlines.com/topic/prostateurethramalenormal.html>
- Cui, D. (2011). *Histología con correlaciones funcionales y clínicas* (Wolters Kluwer Health, ed.).
- Dellmann, D. (1994). *Histología veterinaria* (Acribia S.A., ed.).
- Enge, M. (2002). Endothelium-specific platelet-derived growth factor-B ablation mimics diabetic retinopathy. *The EMBO Journal*, 21(16), 4307–4316. <https://doi.org/10.1093/emboj/cdf418>
- Eroschenko, V. (2017). *Atlas of histology with functional Correlations* (Wolters Kluwer, Ed.; 13th ed.).
- Eurell, J., & Frappier, B. (2006). *Dellmann's Textbook of Veterinary Histology* (Blakell Publishing, Ed.; 6th ed.).
- Fawcett, D. (1996). *Bloom & Fawcett: Tratado de histología* (McGraw-Hill & Interamericana, Eds.; 12. ed.).

- Ferland-McCollough, D., Slater, S., Richard, J., Reni, C., & Mangialardi, G. (2017). Pericytes, an overlooked player in vascular pathobiology. *Pharmacology & Therapeutics*, 171, 30–42. <https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2016.11.008>
- García, A. (2018). *Fisiología veterinaria* (Tébar Flores, ed.).
- Gartner, L. (2018). *Histología: atlas en color y texto* (Wolters Kluwer, Ed.; 7. ed.).
- Gartner, L., Hiatt, J., & Strum, J. (2007). *Temas clave de biología celular e histología* (Wolters Kluwer, ed.; 5.ª ed.). <https://elibro.net/es/ereader/unsaac/124810>
- Gómez Sánchez, M. Á., Párraga Ros, E., & Bernabé Salazar, A. (2024). *Atlas Básico de Histología Veterinaria*. Editum. Ediciones de la Universidad de Murcia. <https://doi.org/10.6018/editum.3055>
- González, N., & Barbeito, C. (2014). *Histología de las aves* (Editorial de la Universidad Nacional de La Plata, ed.).
- Hellström, M., Gerhardt, H., Kalén, M., Li, X., Eriksson, U., Wolburg, H., & Betsholtz, C. (2001). Lack of Pericytes Leads to Endothelial Hyperplasia and Abnormal Vascular Morphogenesis. *The Journal of Cell Biology*, 153(3), 543–554. <https://doi.org/10.1083/jcb.153.3.543>
- Junqueira, L., & Carneiro, J. (2015). *Histología. Básica Texto y Atlas* (Médica Panamericana, Ed.).
- Kierszenbaum, A., & Tres, L. (2020). *Histology and cell biology: An introduction to Pathology* (Elsevier, Ed.; 5th ed.).
- Klein, B. (2014). *Cunningham Fisiología veterinaria* (Elsevier, Ed.).
- Lange, K. (2011). Fundamental role of microvilli in the main functions of differentiated cells: Outline of a universal regulating and signaling system at the cell periphery. *Journal of Cellular Physiology*, 226(4), 896–927. <https://doi.org/10.1002/jcp.22302>
- Liebich, H. (2019). *Veterinary histology of domestic mammals and birds* (Publishing, Ed.; 5th Edition).
- Megías, M., Molist, P., & Pombal, M. (2020a). *Atlas de Histología Vegetal y Animal. Tejidos animales Óseo*: <https://atlashistologia.webs.uvigo.es/pdfs-descargas/a-conectivo-oseo.pdf>
- Megías, M., Molist, P., & Pombal, M. (2020b). *Atlas de Histología Vegetal y Animal: Tejidos animales. Epitelios de revestimiento* (U. de V., Facultad de Biología, Ed.). Facultad de Biología. Universidad de Vigo. <https://mmegias.webs.uvigo.es/descargas/a-epitelio-revestimiento.pdf>.
- Megías, M., Molist, P., & Pombal, M. (2020c). *Atlas de Histología Vegetal y Animal: Tejidos animales. Epitelios glandulares* (U. de V., Facultad de Biología, ed.). <https://mmegias.webs.uvigo.es/descargas/a-epitelio-glandular.pdf>.
- Mescher, A. (2023). *Junqueira's Basic Histology: Text & Atlas* (McGraw-Hill, Ed.; 17th ed.).
- Mo, M., Zhang, Z., Wang, X., Shen, W., Zhang, L., & Lin, S. (2023). Molecular mechanisms underlying the impact of muscle fiber types on meat quality in livestock and poultry. *Frontiers in Veterinary Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1284551>
- Montalvo, C. (2010). *Biología celular e histología médica*. https://Bct.Facmed.Unam.Mx/Wp-Content/Uploads/2018/08/Tejido_oseo_2010.Pdf.
- Ortega, N., Behonick, D. J., & Werb, Z. (2004). Matrix remodeling during endochondral ossification. *Trends in Cell Biology*, 14(2), 86–93. <https://doi.org/10.1016/j.tcb.2003.12.003>

- Paniagua, R. (2007). *Citología e histología: vegetal y animal* (McGraw-Hill, Ed.; 4.^a ed.). <https://elibro.net/es/ereader/unsaac/101875?page=128>
- Parker, G., & Picut, C. (2016). *Atlas of the histology of juvenile rat* (Elsevier, Ed.).
- Pawlina, W. (2016). Ross, *Histología: texto y atlas, correlación con biología celular y molecular* (Wolters Kluwer, Ed.; 7.^a ed.).
- Pawlina, W., & Ross, M. (2020). *Ross Histología: texto y atlas* (Wolters Kluwer, Ed.; 8. ed.).
- Pazour, G. J. (2024). Cilia structure and function in human disease. *Current Opinion in Endocrine and Metabolic Research*, 34, 100509. <https://doi.org/10.1016/j.coemr.2024.100509>
- Percival, C. J., & Richtsmeier, J. T. (2013). Angiogenesis and intramembranous osteogenesis. *Developmental Dynamics*, 242(8), 909–922. <https://doi.org/10.1002/dvdy.23992>
- Reynafarje, C., Faura, J., Paredes, A., & Villavicencio, D. (1968). Erythrokinetics in high-altitude-adapted animals (llama, alpaca, and vicuña). *Journal of Applied Physiology*, 24(1), 93–97. <https://doi.org/10.1152/jappl.1968.24.1.93>
- Ross, M., & Pawlina, W. (2011). *Histology: A Text and Atlas with Correlated Cell and Molecular Biology* (Wolters Kluwer & Lippincott Williams & Wilkins, Eds.; 6th ed.).
- Samuelson, D. (2007). *Textbook of Veterinary Histology* (Elsevier, Ed.; 1st ed.).
- Sekiguchi, R., & Yamada, K. M. (2018). Basement Membranes in Development and Disease (pp. 143–191). <https://doi.org/10.1016/bs.ctdb.2018.02.005>
- Shepro, D., & Morel, N. M. L. (1993). Pericyte physiology. *The FASEB Journal*, 7(11), 1031–1038. <https://doi.org/10.1096/fasebj.7.11.8370472>
- Sorenson, R., & Brelje, C. (2014). *Histology guide*. <https://www.Histologyguide.Com/>.
- Šromová, V., Sobola, D., & Kaspar, P. (2023). A Brief Review of Bone Cell Function and Importance. *Cells* 2023, Vol. 12, Page 2576, 12(21), 2576. <https://doi.org/10.3390/CELLS12212576>
- Tizard, I. (2009). *Introducción a la inmunología veterinaria* (Elsevier, Ed.; 8.^a ed., pp. 8–10).
- Walton, R., Cowell, R., & Valenciano, A. (2021). *Equine hematology, cytology, and clinical chemistry* (Wiley Blackwell, Ed.; 2nd ed.).
- Young, B., Woodford, P., & O'Dowd, G. (2014). *Wheater's Functional Histology: a text and colour atlas* (Elsevier, Ed.).

Agradecimiento

Se extiende un agradecimiento al programa *Yachayninchis Wiñarinpap* de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, por el financiamiento del proyecto “Implementación de la microscopía virtual en el proceso de enseñanza-aprendizaje en la Escuela Profesional de Medicina Veterinaria”. El apoyo recibido fue fundamental para la realización de la presente obra.

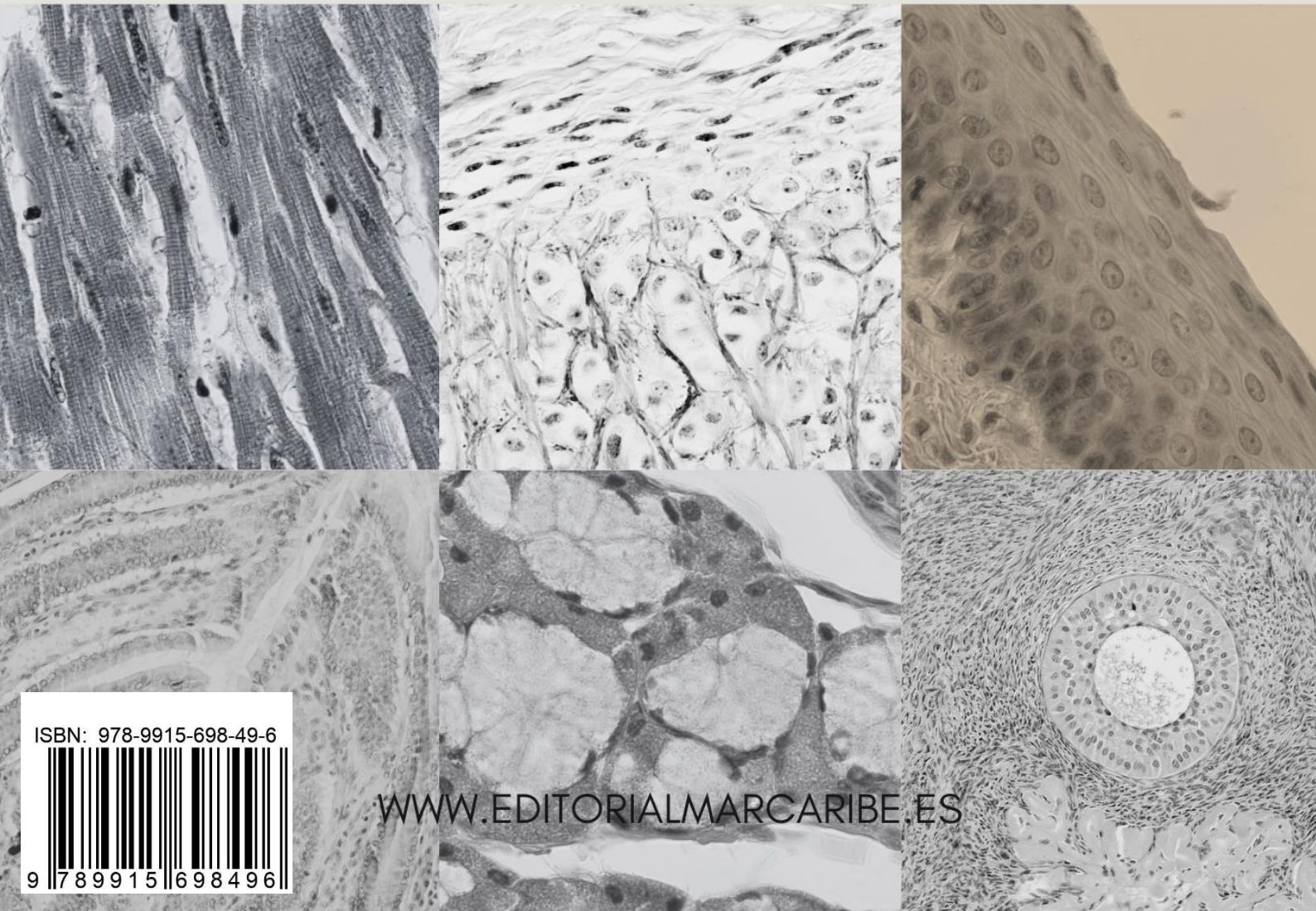
Biografía Del Autor

Julio Enrique Ramírez Huanca es médico veterinario zootecnista, egresado de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno. Posee el grado de *Magíster Scientiae* de la Universidad Nacional Agraria La Molina (Lima) y ha realizado estudios de posgrado en histología animal en la Universidad Nacional de Rosario (Argentina). Actualmente, se desempeña como docente y director de la Escuela Profesional de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Asimismo, es responsable del Laboratorio de Histología y Patología Veterinaria de dicha casa de estudios.

De esta edición de “*Histología veterinaria básica*”, se terminó de editar en la ciudad de Colonia del Sacramento en la República Oriental del Uruguay el 15 de noviembre de 2025

HISTOLOGÍA VETERINARIA BÁSICA

GUÍA DE ESTUDIO



ISBN: 978-9915-698-49-6



9 789915 698496

WWW.EDITORIALMARCARIBE.ES