



Atlas de Histología Vegetal y Animal

Órganos animales

DIGESTIVO

Manuel Megías, Pilar Molist, Manuel A. Pombal

Departamento de Biología Funcional y Ciencias de la Salud.

Facultad de Biología. Universidad de Vigo

(Versión: Mayo 2025)

Este documento es una edición en pdf del sitio
<http://mmegias.webs.uvigo.es/inicio.html>.

Todo el contenido de este documento se distribuye bajo
la licencia Creative Commons del tipo BY-NC-SA
(Esta licencia permite modificar, ampliar, distribuir y usar
sin restricción siempre que no se use para fines comerciales,
que el resultado tenga la misma licencia y que se nombre
a los autores)

La edición de este documento se ha realizado con el software $\text{\LaTeX}$
(<http://www.latex-project.org/>), usando T $\text{\eX}$ studio
(www.texstudio.org/) como editor.

Contenidos

1	Imagen; Lengua	4
2	Glándulas salivales	8
3	Imagen; Diente	12
4	Esófago	14
5	Estómago	18
6	Intestino delgado	21
7	Imagen; Intestino grueso	24
8	Hígado y páncreas	28
9	Imagen; Hígado	29
10	Imagen; Pácreas	32

El sistema digestivo presenta organizaciones muy diversas tanto en los animales invertebrados como en los vertebrados. El aparato digestivo de los vertebrados es, en general, un tubo que recorre el organismo en dirección longitudinal, abierto en sus extremos, la boca y el ano, respectivamente. Aunque hay profundas diferencias, no sólo morfológicas sino también fisiológicas, dependiendo del tipo de dieta que tienen los diferentes grupos de animales, vamos a describir una estructura general refiriéndonos principalmente a los mamíferos de dieta omnívora.

En el aparato digestivo pueden distinguirse las siguientes partes: zona cefálica, zona del tronco y las grandes glándulas anexas: hígado y páncreas (Figura 1).



Figura 1: Figura 1. Esquema de los diferentes componentes del sistema digestivo.

La zona cefálica está formada por la cavidad oral, provista de dientes, glándulas salivales y lengua, y por

la faringe, la cual comunica la cavidad oral y la cavidad nasal con el sistema respiratorio y con sistema digestivo. La cavidad oral y la nasal se encuentran separadas en vertebrados terrestres por el paladar, excepto a nivel de faringe. Tanto el paladar anterior duro como el posterior blando están revestidos por el mismo epitelio que la cavidad oral: epitelio estratificado plano. La parte cefálica presenta una organización más irregular y variable que el resto del tubo digestivo. La función de la zona cefálica es la digestión mecánica, adición de enzimas degradativas como las amilasas, la deglución, así como la percepción del sabor.

La cavidad oral se comunica con el esófago a través de la faringe. Es una estructura involucrada tanto en la digestión como en la respiración. Cuando entra la comida en la faringe, se cierran automáticamente los conductos que conducen el aire hacia los pulmones. Se puede dividir en 3 partes: una superior relacionada con la cavidad nasal, la orofaringe sería la región intermedia y la nasofaringe más caudal, relacionadas tanto con la respiración como la digestión.

La parte del sistema digestivo del tronco comprende al esófago, estómago e intestino (delgado, grueso y conducto anal o recto). Como hemos dicho, el esófago está conectado con la cavidad oral a través de la faringe. Los alimentos ingeridos pasan a través del esófago hacia el estómago donde comienza su digestión por la actividad de enzimas digestivas. En el intestino delgado continúa la degradación química de los alimentos, y se produce además la absorción de agua y los nutrientes a través de su epitelio hacia los vasos sanguíneos y linfáticos. Finalmente en el intestino grueso se acumulan las sustancias de deshecho que son expulsadas de manera controlada a través del conducto anal.

La organización histológica del esófago, estómago e intestinos es similar, y está formada por cuatro capas (Figura 2). La más interna es la mucosa, que consta de un epitelio que reviste el interior del tubo y que presenta variaciones morfológicas a lo largo del tubo digestivo relacionadas con su función conductora, secretora o de absorción. Independientemente de estas variaciones del epitelio, siempre descansa sobre una lámina basal. Debajo de la lámina basal se encuentra

el otro componente de la mucosa: la lámina propia o corion, que es un almacén de tejido conjuntivo laxo, muy irrigado y con gran cantidad de células de defensa como son los macrófagos, células plasmáticas, linfocitos, etcétera. En zona más interna de la mucosa hay una capa de músculo liso llamada muscular de la mucosa, que permite los movimientos de la mucosa.

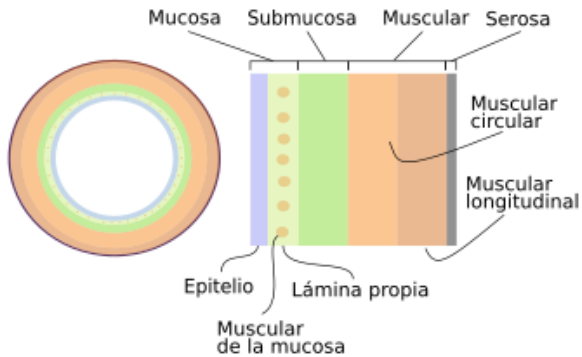


Figura 2: Esquema de las diferentes capas de los conductos del digestivo.

A continuación de la muscular de la mucosa se encuentra la capa de la submucosa, que consta de tejido conjuntivo denso irregular que contiene glándulas exocrinas, también llamadas glándulas submucosas exocrinas. Esta capa está igualmente muy irrigada por vasos sanguíneos y presenta además una gran inervación nerviosa a cargo del plexo de Meissner, el cual controla la motilidad de la mucosa y la secreción de las glándulas.

La capa muscular se encuentra a continuación de la submucosa. Está formada por músculo liso, excepto en la porción inicial del esófago donde presenta fibras musculares estriadas. La capa muscular se organiza en dos subcapas, una circular interna y otra longitudinal externa, denominadas así por la orientación de las células musculares. Entre ambas se localiza un plexo nervioso neurovegetativo, el plexo de Auerbach, el cual controla el movimiento muscular permitiendo las contracciones peristálticas a lo largo del tubo digestivo.

La capa más interna del digestivo es la serosa o adventicia. Está formada por conjuntivo laxo con gran cantidad de células adiposas y establece el límite entre

el tubo digestivo y las cavidades celómicas, uniéndose por su parte dorsal al mesenterio.

Dos grandes glándulas compuestas, el hígado y el páncreas, liberan su contenido al interior del tubo digestivo. Ambas vierten al mismo conducto, el colédoco, que desemboca en el intestino delgado. El hígado secreta la bilis, que contiene, entre otros, los ácidos biliares necesarios para la absorción de las grasas. El páncreas secreta de manera exocrina enzimas digestivas que ayudan a la digestión. Ambas glándulas poseen también una función endocrina, liberando sustancias a la sangre, pero mientras que en el hígado es el propio hepatocito el que realiza tanto la función exocrina como endocrina, en el páncreas la función endocrina se localiza en lugares diferentes denominados islotes de Langerhans.

Glándulas asociadas. Hígado y páncreas

Numerosas sustancias implicadas en la digestión se liberan al interior del tubo digestivo. Muchas de ellas se producen en glándulas alojadas en la pared del propio digestivo, como por ejemplo las glándulas gástricas del estómago o las criptas de Lieberkühn del intestino. Sin embargo, asociadas al tubo digestivo hay dos glándulas de gran tamaño implicadas también en la digestión: el hígado y el páncreas. Son consideradas como órganos más que como meras glándulas y, además de liberar componentes esenciales para la digestión de los alimentos, realizan otras importantes funciones para el organismo.

El hígado se forma durante el desarrollo embrionario a partir de una invaginación de la pared del tubo digestivo. Es la víscera más grande, en humanos pesa 1500 g. Realiza numerosas funciones como la producción de proteínas plasmáticas, mantiene la concentración de glucosa, vitaminas y otras sustancias nutritivas en sangre, es un centro detoxificador de primer orden, produce la bilis y también actúa como órgano endocrino. El hígado lleva a acabo rutas metabólicas antagónicas: síntesis y degradación de glucosa, degradación de lípidos y lipogénesis, hidrólisis de glutamina a glutamato y viceversa, y la producción y degradación de colesterol. Está fuertemente irrigado por arterias que provienen directamente del digestivo, el bazo y el páncreas. Aproximadamente el 75 % de la sangre que llega al hígado

proviene del digestivo, mientras que el otro 25 % proviene de sangre arterial oxigenada.

Las secreciones del hígado, tanto endocrinas como exocrinas, son producidas por las células hepáticas o hepatocitos. Los hepatocitos constituyen el 80 % de la masa del hígado y el 60 % de sus células. Los hepatocitos se denominan también células parenquimáticas porque forman el parénquima del órgano. Además hay células no parenquimáticas como las células endoteliales, las células hepáticas estrelladas, colangiocitos o células que forman los conductos biliares, células de Küpffer, y células inmunes. La secreción exocrina hepática se denomina bilis y se recoge en canalículos hepáticos que la conducen hasta la vesícula biliar, donde se almacena. Desde este almacén temporal se libera al interior del duodeno cuando es necesaria durante la digestión.

El páncreas es una glándula alargada, mucho más pequeña que el hígado, localizada a la altura del duodeno. Tiene dos componentes u organizaciones celulares claramente diferenciados, no sólo fisiológicamente sino también estructuralmente: una endocrina y otra exocrina. La endocrina libera hormonas como la insulina y el glucagón, ambas reguladoras del metabolismo. El componente exocrino produce enzimas necesarias para la digestión que se liberan a la altura del duodeno.

1 Imagen; Lengua

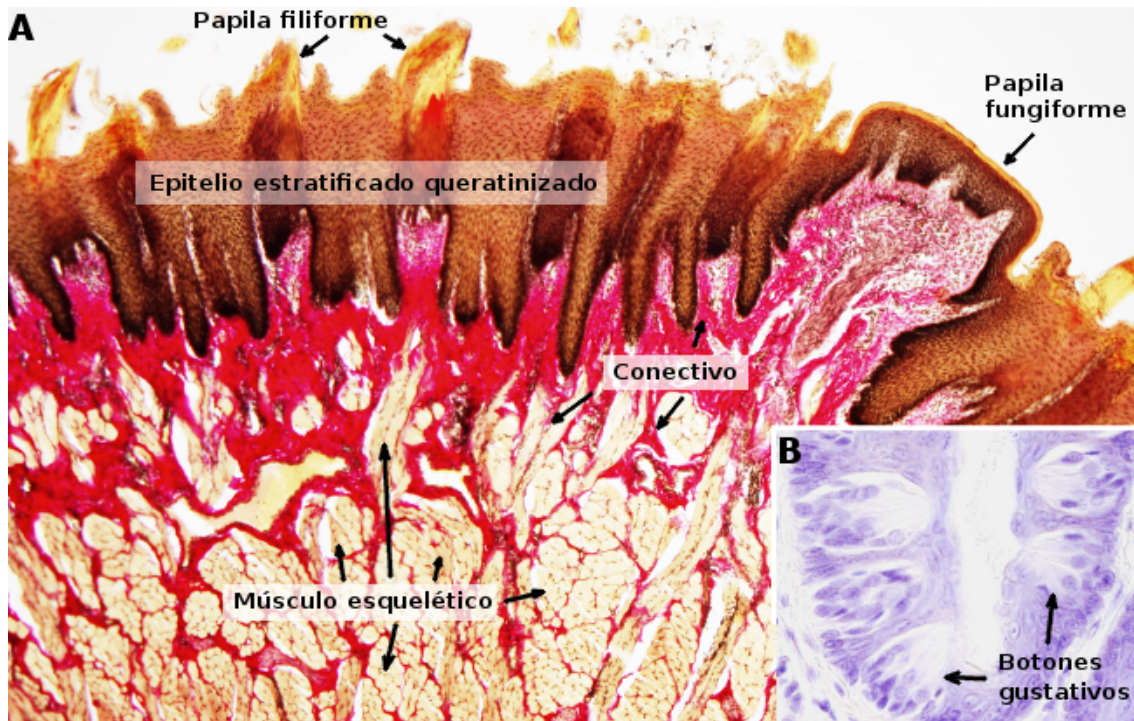


Figura 3: Órgano: lengua. Especie: rata. (*Rattus norvegicus*). Técnica: Secciones de parafina, teñidas con A) van Gieson, B) hematoxilina-eosina. (Tinción realizada por Mario Adrián de Souza y Rubén Rodríguez)

La lengua está formada principalmente por tejido muscular esquelético cuyas fibras se entrelazan en diferentes direcciones permitiendo una gran flexibilidad y precisión de movimientos, necesarios para hablar (en el caso de los humanos), masticar y deglutir. Entre el tejido epitelial y el muscular, también entre los haces musculares, se desarrolla un tejido conjuntivo rico en fibras colágenas que se tiñen de rojo con el tricrómico de van Gieson. Entre las fibras musculares podemos encontrar células adiposas. El epitelio que reviste la lengua es estratificado plano, en general no queratinizado, aunque la superficie dorsal de algunos mamíferos sí presenta queratina. Además, este epitelio dorsal se repliega formando unas irregularidades denominadas papilas linguales. Se conocen cuatro tipos: filiformes, foliadas, fungiformes, caliciformes (Figura 4). Cada uno de ellos presenta una distribución característica en la superficie de la lengua.

Las papilas filiformes son las más pequeñas y abun-

dantes (Figura 5), su epitelio está queratinizado y no contienen corpúsculos gustativos (estructuras sensoriales responsables de percibir el sabor), por lo que su función es puramente mecánica. Proporcionan a la lengua una superficie rugosa que facilita la manipulación del alimento así como sentido del tacto y presión.

Las papilas foliadas son proyecciones bajas separadas por surcos paralelos entre sí. Tienen corpúsculos gustativos situados lateralmente (Figura 6). Son rudimentarias en el hombre, localizándose en el borde lateral posterior, pero están desarrolladas en otros mamíferos como los conejos, en los cuales estas papilas presentan la máxima acumulación de corpúsculos gustativos.

Las papilas fungiformes son proyecciones en forma de hongo y contienen corpúsculos gustativos distribuidos en la parte superior de la papila.

Las caliciformes son las papilas más grandes, en forma de cáliz y rodeadas por un surco circular invaginado, donde se sitúan gran cantidad de corpúsculos gustativos. Las glándulas linguales de carácter seroso

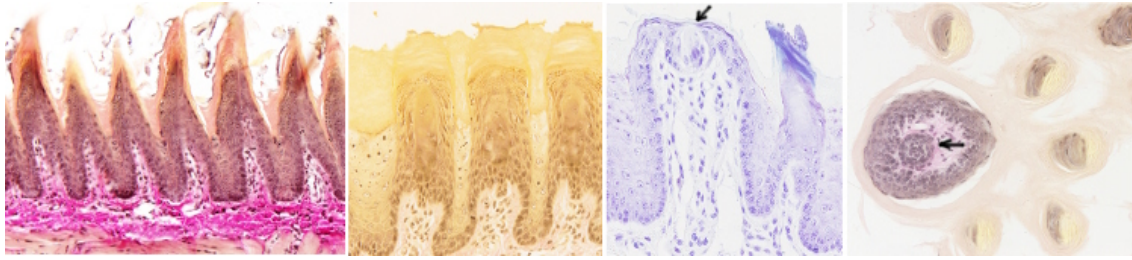


Figura 4: Diversos tipos de papilas (de izquierda a derecha): papilas filiformes (rata, PAS-hematoxilina), foliadas (ratón, van Gieson), fungiforme con corpúsculo gustativo, indicado con una flecha (rata, tiónina), fungiforme con corpúsculo gustativo en el centro, indicado con una flecha, y filiformes, todas cortadas transversalmente (rata, van Gieson)

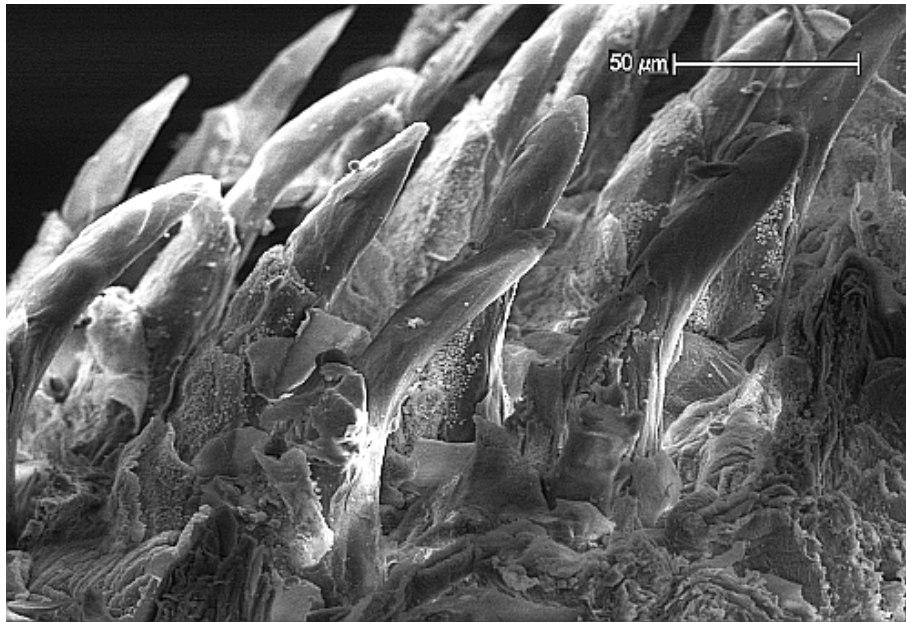


Figura 5: Imagen obtenida con un microscopio electrónico de barrido. Se observa la superficie de una lengua de rata donde hay numerosas papilas filiformes.

vacían su contenido a nivel de dicho surco.

Los corpúsculos o botones gustativos (Figura 7) son las estructuras responsables de percibir los sabores y están formados por tres tipos de células: las sensoriales o células gustativas son las únicas sensibles a las moléculas que generan el sabor; las otras dos son las células soporte y las células basales, siendo estas últimas muy necesarias para la renovación de las células sensoriales. Al contrario de lo que se ha mantenido durante mucho tiempo, en toda la lengua hay sensibilidad a todos los tipos de sabores aunque algunas regiones responden mejor a unos que a otros. Además, no existe una relación entre tipo de papila y tipo de sabor que se percibe. Es decir, los tipos de pa-

pilas que poseen corpúsculos gustativos son sensibles a todos los sabores (Figura 8).

La evolución de la lengua y su organización ha estado relacionada con el medio y con el tipo de comida a los que cada especie se ha adaptado. Los peces (y alguna especie de anfibios) no poseen una verdadera lengua puesto que en su lugar sólo hay una elevación de la base de la cavidad oral y carece de musculatura voluntaria. En anfibios, la lengua verdadera aparece tras la metamorfosis. La musculatura de la lengua ha evolucionado a partir de la musculatura hipo-branquial, que en peces se usa para mover las branquias. Por tanto parece que el paso del medio acuático al terrestre supuso la aparición de una lengua con



Figura 6: Papilas foliadas de la lengua de conejo con botones gustativos en sus partes laterales. Teñido con tinción tricrómica.

acterísticas propias de algunos reptiles. Por ejemplo, las serpientes usan la lengua básicamente para oler, en conjunción con el órgano de Jacobson, mientras que en los camaleones es básicamente un papel mecánico. El grado de queratinización de la lengua en diferentes especies de lagartijas depende del ambiente, mayor en ambientes más secos. Todos los reptiles parecen tener botones gustativos en el epitelio lingual. En los reptiles terrestres hay ya una separación física clara entre las glándulas salivales y la lengua. En las aves, el epitelio de lengua es queratinizado. En su parte ventral tiene unas estructuras queratinizadas denominadas llamadas uñas ventrales, que también pueden aparecer en la parte superior. Estas estructuras sirven para manejar la comida. Los botones gustativos pueden estar muy profundos en la lengua y están conectados mediante unos conductos con la superficie de la lengua.

movimiento. La lengua de anfibios no tiene un epitelio queratinizado, además no hay separación clara entre glándulas salivales y la lengua, y una gran parte del epitelio contiene células secretoras, con gránulos que probablemente desempeñen el mismo papel que la saliva. Tienen grandes botones gustativos en este epitelio. En los reptiles el epitelio de la lengua es estratificado y generalmente queratinizado. Hay car-

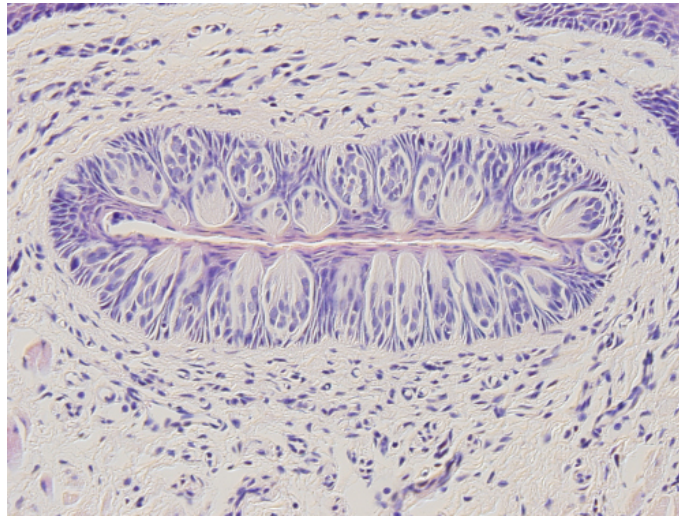


Figura 7: Botones gustativos de la lengua de rata

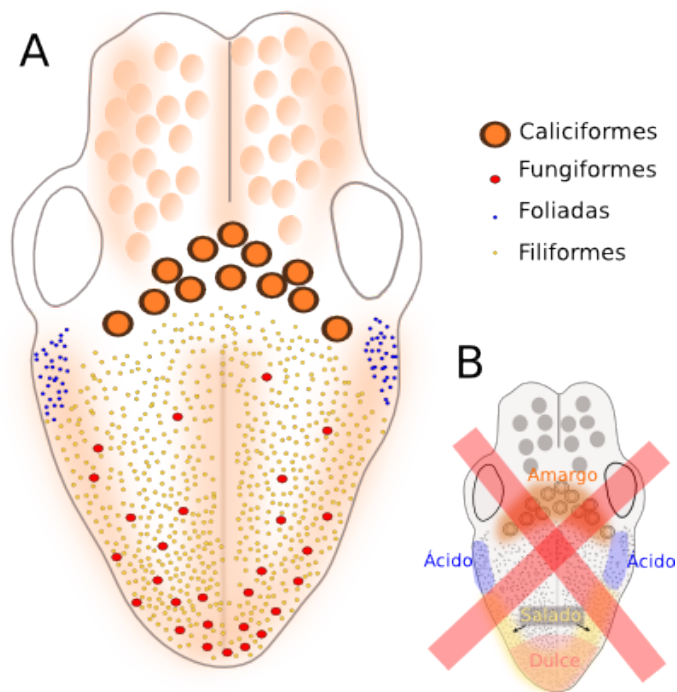


Figura 8: Esquema de la distribución de las diferentes papilas en la lengua humana. La capacidad para percibir los sabores no está regionalizada en la lengua sino que cualquier sabor se percibe en cualquier región de la lengua. Es decir, la imagen B donde los sabores se representan por colores es incorrecta.

2 Glándulas salivales

Las glándulas salivales son glándulas asociadas al sistema digestivo que secretan su contenido a la cavidad oral. Su principal misión es humedecer y lubricar la cavidad oral y la comida que se está masticando en su interior. Son glándulas exocrinas que estructuralmente se corresponden con el tipo acinar compuestas (ver esquema). Están formadas por unidades funcionales llamadas adenómeros (Figura 9), los cuales consisten en una parte secretora acinar y un conducto excretor. Las glándulas más grandes están revestidas por una cápsula de tejido conectivo desde donde parten los septos que dividen a las estas glándulas en los lobulillos glandulares (Figuras 10 y 11), los cuales contienen grupos de adenómeros. Desde los septos de los lobulillos glandulares se extiende el tejido conectivo que envuelve y separa a las componentes secretoras y conductos excretores de cada adenómero. Por el conjuntivo entran vasos sanguíneos, linfáticos y nervios que se reparten por toda la glándula.

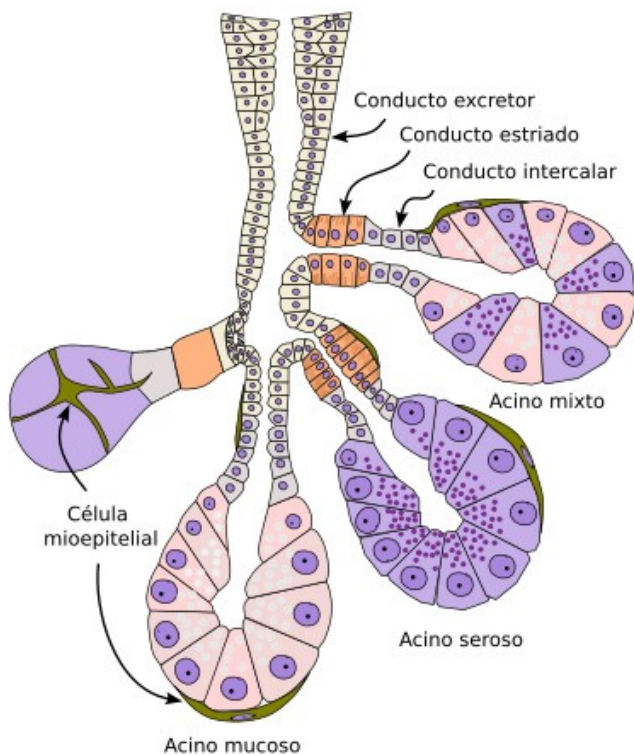


Figura 9: Esquema de un adenómero que contiene unidades secretoras serosas, mucosas y mixtas.

Parte secretora

La unidad secretora básica de las glándulas salivales es el acino, estructura a modo de saco ciego con una abertura (Figura 3). Los acinos pueden estar formados exclusivamente por células serosas, que secretan sales, glicoconjugados, enzimas y proteínas, por células mucosas, que secretan glicosaminoglicanos, proteoglicanos y glicoproteínas, o por una mezcla de ambos tipos celulares. En este último caso, los acinos mixtos aparecen como células mucosas rodeadas parcialmente por semilunas de células serosas, denom-

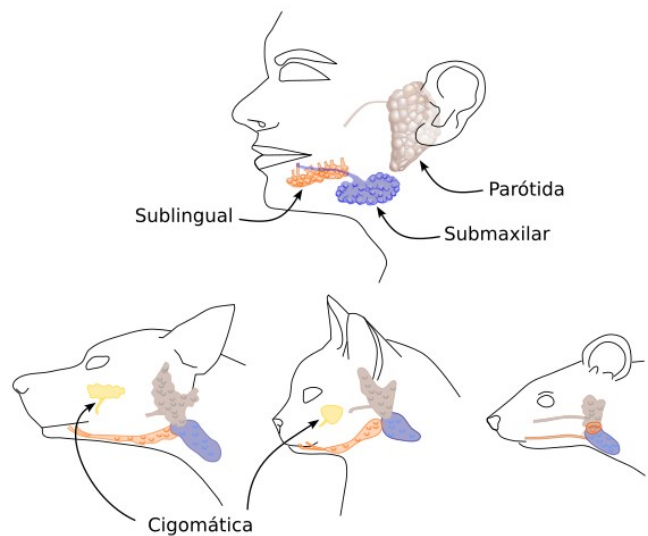


Figura 10: Esquema donde se muestran las glándulas salivales grandes.

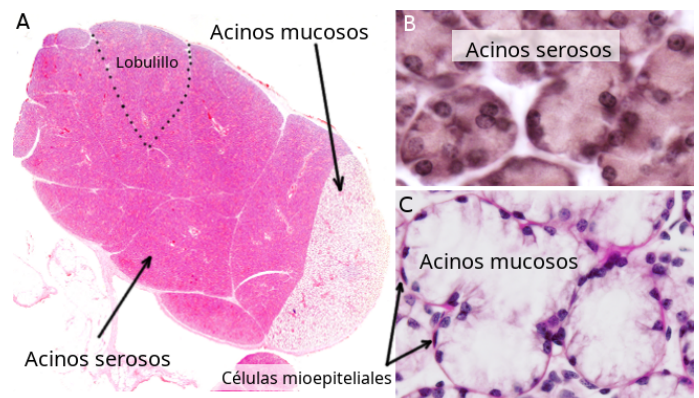


Figura 11: Glándula salival submaxilar (serosa) y sublingual (mucosa) de conejo, teñidas con hematoxilina-eosina. B. Acinos serosos teñidos con van Gieson. C. Acinos mucosos teñidos con hematoxilina-eosina.

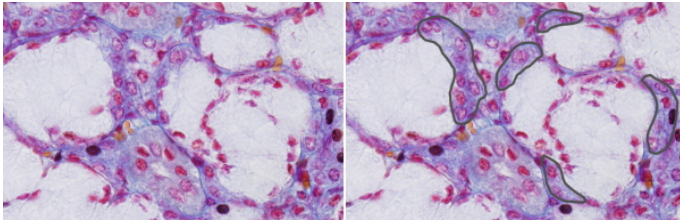


Figura 12: Imagen de acinos mixtos con la parte serosa englobada en líneas negras en la imagen de la derecha. Estas imágenes aparecen en las glándulas sublinguales.

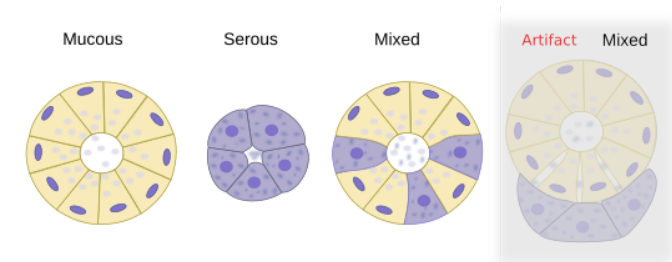


Figura 13: Tipos de acinos: mucosos, serosos. Los acinos mixtos poseen células serosas y mucosas entremezcladas. La semilunas que se observan en las preparaciones histológicas son artefactos de la técnica (modificado de Krstić, 1989).

inadas semilunas de Gianuzzi o de von Ebner (Figura 1), que en realidad son artefactos de la técnica de procesamiento histológico convencional, puesto que al eliminar los artefactos las células serosas se sitúan al lado de las mucosas (Figuras 12 y 13).

Las células serosas tienen un aspecto piramidal, anchas en la base, que está en contacto con una lámina basal. En su citoplasma abundan el retículo endoplasmático rugoso, ribosomas libres y un aparato de Golgi desarrollado. Se pueden observar numerosos gránulos que son vesículas de secreción denominados gránulos de zimógeno. Por eso en tinciones generales de hematoxilina y eosina la parte basal de la célula se tiñe con hematoxilina debido al gran cúmulo de retículo endoplasmático rugoso y la apical de eosina por la gran cantidad de proteínas. Cerca de la parte apical las células serosas están unidas por uniones estrechas (complejos de unión célula-célula).

Las células mucosas son más redondeadas y almacenan sus productos en vesículas denominadas gránulos de mucinógeno, que se tiñen mal con los colorantes

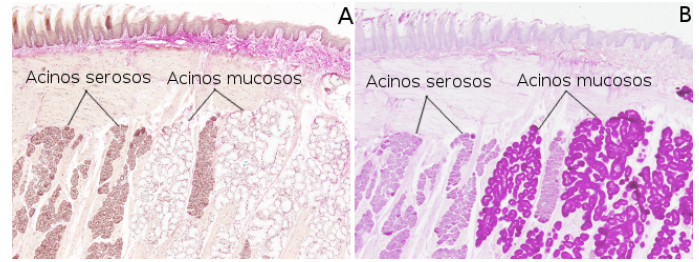


Figura 14: Imágenes de secciones consecutivas de glándulas salivales accesorias de rata. A: teñida con Van Gieson; B: teñida con PAS-hematoxilina. Destaca la fuerte coloración fucsia en los acinos mucosos con la tinción PAS-hematoxilina debido al alto contenido en mucopolisacáridos.

convencionales, pero intensamente con las tinciones de glúcidos como el PAS (Figura 14). Estos gránulos se sintetizan y almacenan en el citoplasma hasta que se recibe un estímulo nervioso y hormonal. La mayor concentración de orgánulos se concentra en la parte basal, mientras que los gránulos los hacen en la parte apical. Como el mucinógeno no se tiñe con hematoxilina y eosina, el aspecto que presentan estas células es de células vacías. Los núcleos se disponen basalmente y con una forma aplanada (sin embargo, en las preparaciones hechas por congelación rápida, los núcleos aparecen redondeados, y localizados más hacia el centro de la célula. También estas células muestran complejos de adhesión en sus membranas apicales que mantienen cohesionadas a las células.

Entre la membrana basal de las células del acino y la lámina basal del epitelio glandular se encuentran unas células aplanadas llamadas células mioepiteliales. También aparecen en la porción proximal excretora del adenómero. Éstas son células contráctiles y su actividad contribuye a mover el producto secretado a lo largo del adenómero.

Conductos

Los acinos vierten al exterior su producto a través de un sistema de conductos. Desde los acinos hasta su abertura a la cavidad bucal, los conductos de las glándulas grandes se dividen en tres regiones. El conducto intercalar está formado por una capa de células cúbicas o aplanadas al que vierten directamente los acinos (Figuras 9 y 15). Esta zona está recubierta parcialmente por células mioepiteliales. Se

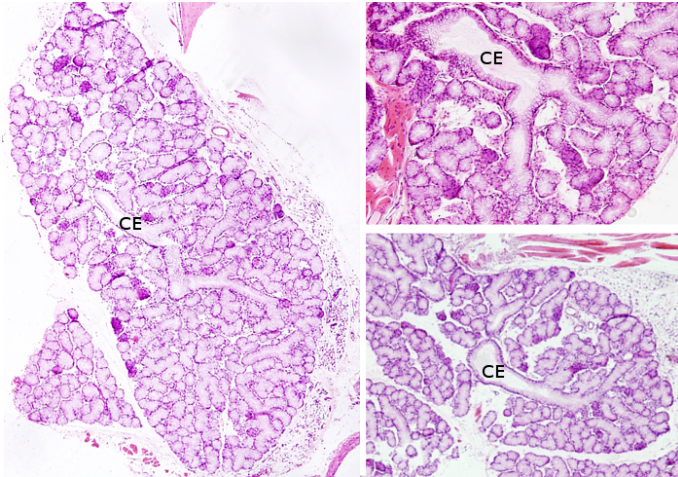


Figura 15: Glándulas submaxilares, parte mucosa. Las imágenes muestran acinos en su punto de conexión con el conducto estriado (CE).

cree que esta zona es un reservorio de células madre para mantener la población de células acinares y las de otras partes del conducto. Este segmento intercalar se comunica con el conducto estriado, formado por una capa de células más cilíndricas. Las células de los segmentos intercalares secretan iones bicarbonato, absorben cloro y presentan actividad anhidrasa carbónica. La parte estriada está formada por epitelio simple prismático, con un núcleo en posición central. Sus células poseen pliegues basales con muchas mitocondrias, de ahí el aspecto estriado. Están especializadas en la secreción (potasio y carbonato) y reabsorción (sodio) de electrolitos. Hay una mayor absorción que secreción, por lo que se consigue un producto hipotónico. En la zona terminal se encuentran los conductos excretores, cuyas paredes pasan de estar formadas por epitelio simple cúbico, pseudoestratificado cilíndrico, a pluriestratificado cúbico, pluriestratificado prismático y pluriestratificado plano, algunas con microvellosidades.

Los segmentos intercalares, estriado y excretor proximal son intralobulillares. Los conductos excretores de un lobulillo se van uniendo para formar segmentos excretores extralobulillares, los cuales finalmente se fusionarán para formar el conducto excretor final. Los conductos extralobulillares corren por láminas de tejido conectivo hasta que salen de la propia glándula.

El desarrollo de cada uno de los tres segmentos de los conductos excretores depende del tipo de glándula. Las glándulas serosas presentan unos conductos intercalares y estriados bien desarrollados, mientras que en las mucosas están poco desarrollados y a veces son difíciles de discriminar. Esto es debido a que en las secreción serosa se modifica a medida que se pasa por los conductos excretores intercalares y estriados, mientras que la secreción mucosa es muy similar a la que se libera en la cavidad oral, y por tanto no se necesitan células especializadas en los conductos excretores.

Las glándulas salivares están inervadas tanto por el sistema simpático como por el parasimpático, lo que permite la secreción bajo cualquier circunstancia, alterándose, según el estímulo, la composición y cantidad de saliva secretada. La masticación también altera la secreción.

Glándulas

En mamíferos, excepto en cetáceos, hay tres pares de glándulas salivales mayores o principales: la parótida, la submandibular y la sublingual (Figura 1). En los carnívoros hay otra glándula mayor llamada cigomática. Las partes secretoras de las glándulas parótida y submandibular se encuentran en realidad fuera de la cavidad oral, pero vierten a ella gracias a largos conductos excretores. Esta secreción es lo que permite mantener la cavidad oral húmeda. Las tres grandes glándulas están muy vascularizadas e inervadas por el sistema nervioso. En conjunto, las tres glándulas mayores son capaces de liberar hasta el 90 % de la saliva, mientras que el resto lo liberan las llamadas glándulas menores.

Parótida

La glándula parótida es la más grande de las glándulas salivales. Presentan una localización subcutánea a cada lado de la cara y delante de las orejas. Su conducto excretor principal, denominado conducto de Stensen, desemboca a la altura del segundo molar superior. Sus células secretoras son serosas puras. Su secreción es acuosa, poco densa y rica en enzimas y anticuerpos. Se puede observar segmentos intercalares y estriados bien diferenciados en los conductos excretores. Una de las características distintivas de las glándulas parótidas es que contienen una gran can-

tividad de tejido adiposo en sus alrededores. En humanos, el 90 % de la glándula parótida está formada por células secretoras, 5 % por conductos estriados y el resto por tejido conectivo, vasos y nervios.

Submaxilar

La glándula submaxilar, como su nombre indica, se encuentra debajo del suelo de la boca, próxima al maxilar inferior. Su conducto excretor se abren en el suelo de la boca a la altura del frenillo de la lengua. A este conducto final se le llama de Wharton. Los acinos son predominantemente serosos, pero también existe una pequeña proporción de acinos con células mucosas y mixtas (seromucosas). Su secreción es de consistencia intermedia. En roedores, esta glándula es sólo serosa.

Sublingual

Las glándulas sublinguales se encuentran debajo del suelo de la boca, anteriores a las submandibulares, y son las más pequeñas de las tres. Tienen células secretoras serosas y mucosas, pero predominan las mucosas. Poseen numerosos conductos de pequeño calibre, llamados de Rivinus, que desembocan de forma independiente en el suelo de la boca, y otro conducto mayor, llamado de Bartolini, que conecta con el de Wharton para desembocar fusionados en la cavidad oral. Sus acinos son fundamentalmente mucosos, con algunos mixtos, pero es muy raro ver un acino completamente seroso. Menores

El resto de glándulas productoras de saliva se agrupan en las denominadas glándulas salivales pequeñas o accesorias, con su parte secretora situada bajo la submucosa oral, y que por su situación anatómica se clasifican en glándulas linguales, labiales, yugales, molares y palatinas. Éstas últimas se dividen a su vez en yugales, molares y retromolares. Las glándulas accesorias segregan continuamente para mantener húmeda la cavidad bucal ya que de otra manera el roce de los dientes provocaría una gran erosión del epitelio de dicha cavidad.

Saliva

La saliva es el resultado de la secreción del conjunto de las glándulas salivales, y cada glándula contribuye de forma variable. Es un líquido de composición tan variada como compleja. La saliva contiene agua, proteínas, glicoproteínas, iones inorgánicos, así como diversas enzimas que degradan glúcidos, inmunoglobulinas, como la IgA, mucinas, y factores de crecimiento. Por tanto, las funciones de la saliva son variadas. Las relacionadas con la digestión consisten en mantener húmedas las mucosas, ablandar el alimento, lubricarlo mediante mucinas para facilitar la deglución. Interviene en la digestión inicial mediante las amilasas salivales que degradan el almidón. También es importante para el desarrollo y mantenimiento de los dientes gracias a su contenido en calcio y fósforo. Además, liberan sustancias como proteínas y anticuerpos que protegen a los dientes frente a patógenos. Una carencia de saliva lleva a un incremento en el número de caries. En la saliva se liberan inmunoglobulinas tipo A.

La saliva que se libera desde las células secretoras es isotónica respecto a la sangre, pero la que llega a la boca no lo es. Esto es porque en los conductos excretores se produce reabsorción de sodio y excreción de potasio y carbonato. En conjunto es hipotónica comparada con la sangre.

Bibliografía

Amano O, Mizobe K, Bando Y, Sakiyama K. 2012. Anatomy and histology of rodent and human major salivary glands. *Acta histochemica et cytochemica*. 45: 241-250.

Holmberg, KV, Hoffman MP. 2014. Anatomy, biogenesis and regeneration of salivary glands. *Monographs in oral science*. 24:1-13. doi: 10.1159/000358776

3 Imagen; Diente

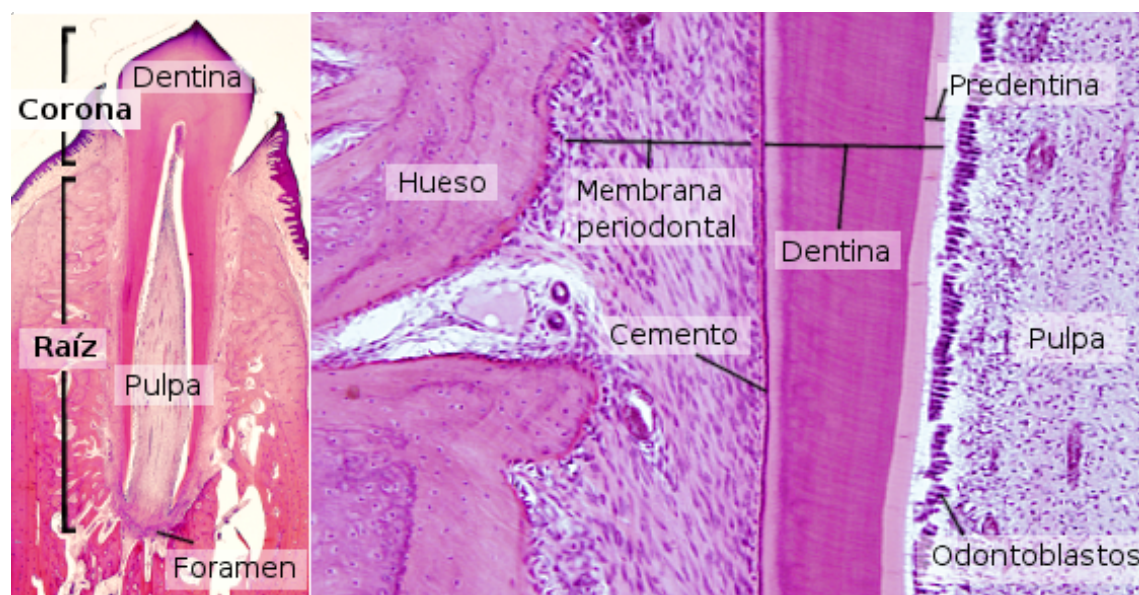


Figura 16: Órgano: cavidad bucal, diente. Especie: mamífero. Técnica: descalcificación, secciones de parafina teñidas con hematoxilina-eosina

Los dientes se encuentran en la cavidad bucal y son indispensables para triturar y desagarrar la comida. Están fijados a los maxilares superior e inferior (mandíbula), incluidos en los denominados procesos alveolares mediante prolongaciones llamadas raíces. Hay distintos tipos de dientes que se denominan según la forma y posición. En humanos adultos hay 2 incisivos mediales, 2 incisivos laterales, 2 caninos, 4 premolares y 6 molares, en cada maxilar. Cada uno de ellos está especializado, los incisivos para cortar, los molares para triturar. En humanos, seis meses después del nacimiento aparece la dentición decidua o de leche (20 dientes en total), la cual es reemplazada entre los 6 y los 13 años por los dientes permanentes que se mantienen hasta el estado adulto.

Macroscópicamente el diente posee una zona no visible que se inserta en los alveolos de los huesos que se llama raíz y una parte que sobresale denominada corona. Los incisivos, los caninos y los premolares, excepto el primer premolar del maxilar superior, tienen una sola raíz. Los molares tienen una raíz triple y a veces cuádruple. La zona de unión entre la corona y la raíz se denomina cuello.

Microscópicamente los dientes poseen varias capas de sustancias especializadas y duras.

El esmalte es una capa mineralizada que recubre externamente la corona. No puede ser reparado puesto que sólo se forma una vez y ya no se renueva. Es la única estructura mineralizada que no deriva de tejido conjuntivo sino que lo hace de un epitelio. Se considera como parte más dura del organismo ya que está formada en un 99 % por fosfato de calcio en forma de cristales de hidroxiapatita. Su grosor es mayor en las zonas expuestas encargadas de la trituración, pudiendo llegar hasta 2,5 mm en humanos. El esmalte es la superficie de la parte del diente que hemos denominado corona ya que la raíz del diente no posee esmalte.

El cemento es una capa de material muy similar al hueso que cubre la raíz del diente, pero a diferencia del hueso carece de vasos sanguíneos. Es la capa responsable de fijar el diente a la pared alveolar ósea gracias a la emisión de fibras de colágeno que actúan a modo de anclajes. Estas fibras colágenas, conocidas como fibras de Sharpey, presentan una dirección oblicua desde su punto de anclaje en el cemento hasta su unión con el hueso. La unión fibrosa entre la raíz del diente y el hueso alveolar se denomina membrana periodontal, la cual está fuertemente irrigada por va-

sos sanguíneos e inervada por nervios de diferentes procedencias.

La dentina es el material calcificado que forma la mayor parte del interior del diente. Se dispone bajo el esmalte y bajo el cemento. Contiene un 80 % de cristales de hidroxiapatita, menos que el esmalte, pero más que el cemento y el hueso. La dentina deja una cavidad interna en el diente ocupada por tejido conectivo, denominado pulpa o cavidad pulpar. La dentina no posee células y su formación se debe a los odontoblastos, los cuales forman una sola capa de células cilíndricas altas dispuestas en el límite entre la dentina y la pulpa. Las estrías que se observan en secciones de diente, y que aparecen en la dentina, se deben a oleadas de secreción por parte de los odontoblastos de material que forma la dentina. Cuando se observa a mayores aumentos, la dentina muestra una gran can-

tidad de canalículos dispuestos de manera radial que son los restos de los huecos que crearon las prolongaciones de los odontoblastos durante la liberación de material para formar la dentina. Las prolongaciones odontoblásticas comienzan su secreción en una zona poco teñida de matriz orgánica no mineralizada, constituyendo la predentina.

La pulpa o cavidad pulpar está delimitada por la dentina y la forma un tejido conectivo laxo muy vascularizado e inervado por numerosos nervios. Tanto vasos sanguíneos como nervios entran al hueso por una abertura en los ápices de las raíces denominada orificio radicular. El aspecto de la pulpa es similar al mesénquima embrionario con gran cantidad de fibroblastos de forma estrellada y abundante sustancia fundamental.

4 Esófago

El esófago es un tubo relativamente recto que comunica la faringe con el estómago. En humanos mide unos 25 cm. Su estructura muestra las capas típicas del tubo digestivo: mucosa, submucosa, muscular y adventicia.

1. Anatomía

El esófago empieza al final de la faringe, una estructura muscular a la que también está conectada la tráquea. Está dividido en tres regiones, el esófago cervical, torácico (mediastino) y abdominal, de acuerdo con las cavidades del cuerpo que va cruzando (Figura 17). El esófago cervical empieza en la faringe y se extiende justo detrás de la laringe y de la tráquea, un poco lateral a la línea media, delante de la columna vertebral. Mide unos 4 a 5 cm. La zona inicial se llama esfínter superior o faringogástrico y limita la entrada de comida deglutida desde la faringe al esófago. El esófago torácico sigue al cervical, pasa detrás de la bifurcación de la tráquea y continúa detrás del atrio izquierdo, y entran en la cavidad abdominal a través del hiato esofágico, una abertura del diafragma. Mide unos 20 cm. La porción torácica se puede subdividir en tres regiones más. El esófago abdominal mide entre 2 y 4 cm, y es en realidad el esfínter inferior o esofagogástrico, y conecta el esófago con el estómago, con la región del cardias. Aquí se regula la comunicación del esófago con el estómago y se evita el reflujo estomacal.

Hay tres constricciones que disminuyen la luz del esófago: el esfínter superior, el punto donde se encuentran el bronquio principal y el arco aórtico, que comprimen el esófago, y en el área del esfínter inferior cuando se cruza la pared abdominal. La constricción mayor es en el esfínter superior. Curiosamente no hay características anatómicas que diferencien a los esfínteres del resto del esófago, pero se pueden identificar con mediciones de presión, siendo ésta mayor

2. Histología

La pared esofágica está formada por varias capas de tejidos: mucosa, submucosa, muscular y serosa (figuras 18 y 19). La mucosa está formada por un epitelio estratificado plano, normalmente sin estrato córneo

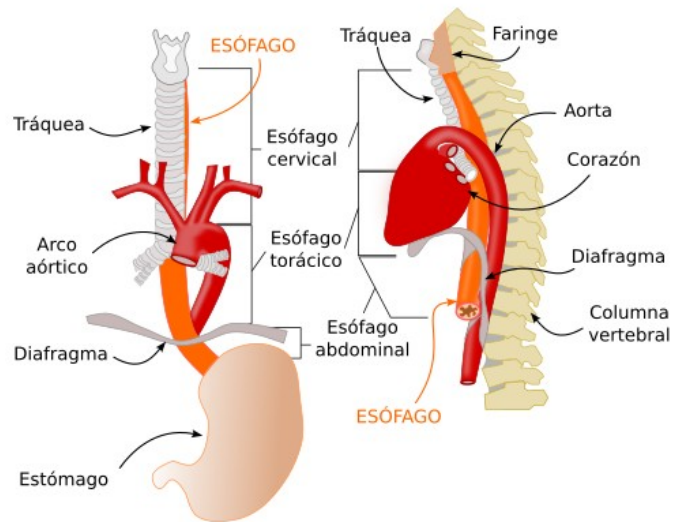


Figura 17: Disposición del esófago y principales divisiones antero-posteriores.

aunque en algunos animales con dieta de alimentos duros, como los roedores, puede estar parcialmente queratinizado. Este epitelio se transforma en simple cúbico en la zona de transición con el estómago. Debajo del epitelio se encuentra la lámina media, que es un tejido conectivo con muy pocas células, con linfocitos dispersos y con algunos nódulos linfáticos localizados normalmente en las proximidades de los conductos excretores de las glándulas secretoras de mucus. La muscular de la mucosa es, en comparación con otras zonas del tubo digestivo, muy gruesa en la porción superior, y la mayoría de sus fibras se orientan longitudinalmente. Es más gruesa a mediada que nos desplazamos a regiones inferiores.

La submucosa es tejido conectivo denso con una gran cantidad de fibras elásticas y de colágeno, las cuales permiten su distensión cuando pasa el bolo de comida. Posee numerosas fibras y células nerviosas (simpáticas y parasimpáticas) y células ganglionares sensoriales, formando conjuntamente el plexo submucoso o plexo de Meissner. La función de este plexo es regular la secreción glandular y la contracción de las células musculares de la mucosa. La submucosa posee también una red densa de vasos linfáticos y los nódulos linfáticos de la mucosa se extienden hasta aquí. Los vasos linfáticos de la zona cervical y mitad superior de la torácica drenan en los ganglios

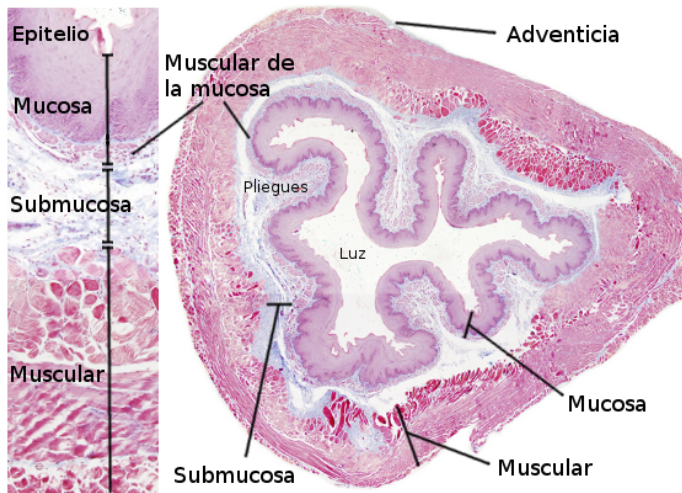


Figura 18: Imagen donde se muestra una sección de esófago de conejo y las capas histológicas de las que se compone.

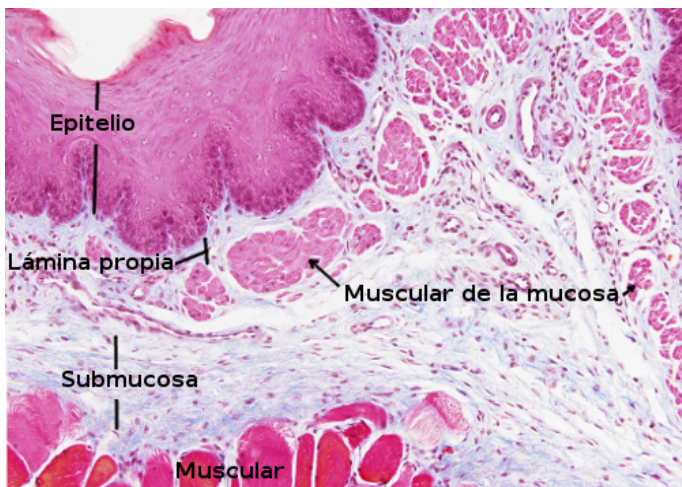


Figura 19: Imagen a mayor aumento donde se pueden observar las diferentes capas de la mucosa.

cervical, paratraqueal y subcarinal, mientras que la parte inferior torácica y abdominal drenan en los ganglios diafragmático, paracardial gástrico izquierdo y celíaco. También hay numerosos vasos sanguíneos pero no presenta grandes vasos como arterias. En la submucosa se encuentran las partes secretoras de las glándulas mucosas que lubrican la luz esofágica. Son más abundantes en las partes anteriores que en las inferiores. La luz del esófago aparece delimitada por numerosos pliegues longitudinales de la mucosa y submucosa (Figuras 2 y 4). Estos pliegues se distienden y permiten el paso de grandes bolos de alimento

deglutido.

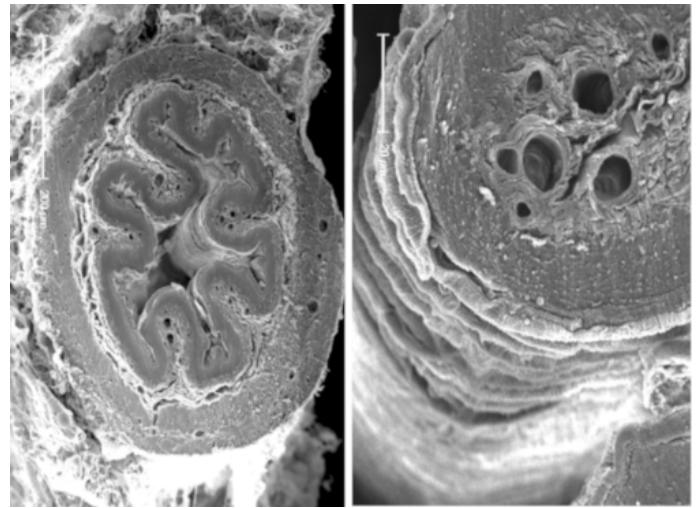


Figura 20: Imagen de microscopía electrónica de barrido de un esófago de rata en sección transversal. La imagen de la derecha muestra un pliegue esofágico a más aumentos.

La capa muscular está formada por una capa de células musculares orientadas longitudinalmente y otra más interna de fibras circulares. En el tercio superior ambas capas están formadas por células musculares estriadas (esqueléticas o voluntarias). La proporción de fibras lisas es mayoritaria en los dos tercios inferiores. En la zona superior la capa longitudinal se puede dividir en tres fascículos que luego se mezclan entre sí. Dos son continuación de los músculos faríngeos, mientras que el tercero está anclado al cartílago cricoide. Las células de la capa circular forma anillos perpendiculares al eje esofágico en las zonas superior e inferior, pero un poco oblicuos en el resto de esófago. Esta capa es un poco más gruesa que la longitudinal.

Entre las dos capas musculares se sitúa un plexo nervioso denominado mientérico o de Auerbach, formado por neuronas, fibras nerviosas y células gliales. Este plexo inerva las capas musculares y estimula la actividad peristáltica que impulsa al bolo alimenticio hasta el estómago.

Externamente tenemos una capa adventicia formada por tejido conjuntivo laxo o fibroso que se encarga de fijar el esófago al resto del cuerpo. Esta capa contiene fibras de colágeno y elásticas que le proporcionan resistencia. La capa adventicia se sustituye

por una capa serosa cuando el esófago se fusiona con el estómago.

El esófago contiene glándulas que secretan mucus, cuya misión es lubricar los alimentos en la parte superior y proteger al esófago del reflujo estomacal en la parte inferior. Se dividen en dos tipos: glándulas cardiales y esofágicas propiamente dichas. Las glándulas cardiales, denominadas así por su parecido con las estomacales, localizan su parte secretora en la lámina propia de la mucosa y son más abundantes en el tercio inferior esofágico, aunque a veces también en el superior. Las glándulas esofágicas propiamente dichas localizan su parte secretora en la submucosa y se distribuyen a lo largo de toda la longitud esofágica pero más concentradas en la mitad superior. Son compuestas túbulo-acinosas.

3. Inervación

Aparte de la inervación intrínseca proporcionada por los plexos de Meissner y de Auerbach, el esófago está inervado por fibras sensoriales y motoras, de origen simpático y parasimpático. En el esófago hay termo, quimio, osmo y mecanorreceptores que recogen información sensorial que envían información a través de procesos dendríticos de neuronas cuyos somas se encuentran en los ganglios dorsales espinales localizados a la altura del tórax. Éstos envían sus axones a las neuronas localizadas en la sustancia gris de la médula espinal, en la zona lateral e intermedia. Los axones de estas neuronas espinales (preganglionares) pueden abandonar la médula espinal por la raíz ventral y hacer contacto sináptico con neuronas ganglionares de la cadena simpática de ganglios de la cadena paravertebral. Las neuronas ganglionares simpáticas envían axones al esófago. Hay también axones de estas células preganglionares de la médula espinal localizadas en los niveles T5 y T9 que forman un nervio que se dirige hacia la parte caudal, perfora el diafragma e inerva el ganglio celiaco. Las células ganglionares de este ganglio también inervan al esófago. Todas estas fibras simpáticas inervan a las glándulas, los músculos y el propio plexo entérico del esófago, controlando sus movimientos peristálticos.

Parte de la información sensorial que sale del esófago es enviada a estructuras encefálicas donde es interpretada como sensaciones (temperatura,

mecánica, química, etcétera). A su vez, estructuras encefálicas envían axones hacia las neuronas preganglionares de la médula espinal que modularán la actividad del esófago.

El componente parasimpático del esófago está representado por la inervación desde el nervio vago. Las aferencias sensoriales parasimpáticas viajan por fibras del nervio vago, las cuales son dendritas de neuronas ganglionares localizadas en el ganglio vago nodoso inferior, en el ganglio yugular y en el petroso. Se ha demostrado que hay ganglios especializados en captar información de la mucosa (información química) y otros de la muscular (información mecánica). Los axones de estos ganglios terminan en varios núcleos del tronco encefálico. La vía parasimpática que inerva la musculatura lisa y estriada del esófago también tienen diferente origen. Los que inervan la muscular estriada parten de la parte rostral del núcleo ambiguo, mientras que los que inervan la musculatura lisa lo hacen desde la parte medial del núcleo dorsal del tronco encefálico. La vía parasimpática permite modular la actividad peristáltica, secreción glandular y controlar la presión en el esfínter superior. Igual que en el caso del sistema simpático, los componentes del sistema parasimpático están controlados o modulados por estructuras encefálicas más rostrales.

4. Función

La principal función es servir de conducto desde la faringe hasta el estómago. Es el único órgano del tubo digestivo en el que no se absorbe alimento. Los movimientos involuntarios de los músculos de la faringe empujan a la comida hacia la abertura del esófago, donde el esfínter esofágico se relaja. Una vez en el esófago se producen ondas de contracción de la pared del esófago que empujan a la comida hacia el estómago.

5. Desarrollo

El tubo digestivo deriva del endodermo y del mesodermo durante el periodo embrionario. El mesodermo formará el tejido conectivo y el muscular de la pared del esófago. Hacia la 4ª semana de desarrollo embrionario aparece el digestivo anterior, desde el cual se forman la faringe, el esófago, el estómago, la tráquea y los pulmones, el conducto colédoco, el sistema biliar

y el hígado. En la semana 10 el epitelio del esófago es epitelio ciliado, que es reemplazado por el epitelio estratificado plano. Quedan, sin embargo, islas de epitelio ciliado que darán lugar a las glándulas esofágicas submucosas.

En la semana sexta se forma la capa muscular y el plexo mientérico y a la séptima la submucosa es invadida por vasos sanguíneos. El músculo liso de los dos tercios inferiores deriva de los somitas, mientras que el estriado de la parte superior del mesénquima de la faringe.

6. Patología

Una de las enfermedades más típicas causadas por deficiencias en la función del esófago es la acalasia, la cual deriva de una disfunción de las células del plexo mientérico, con lo que el esófago no puede desplazar la comida por ausencia de movimientos musculares. Además, el esfínter inferior no se puede relajar, con lo que la comida tiene difícil llegar al estómago.

En los tumores asociados al esófago, la ausencia de serosa hace que las células cancerosas se puedan dispersar por otros tejidos más fácilmente, cuando se compara con otras regiones del digestivo.

5 Estómago

El estómago es la cavidad del sistema digestivo donde se degradan los alimentos por la acción de los jugos gástricos. Tiene forma de letra J y está aplanado en el eje antero-posterior (Figura 22). Se encuentra a continuación del esófago. En la zona de transición entre ambos se encuentra el esfínter esofagogástrico, que evita el reflujo del contenido estomacal hacia el esófago. El paso del esófago al estómago supone un gran cambio anatómico e histológico en el tubo digestivo (Figura 23).

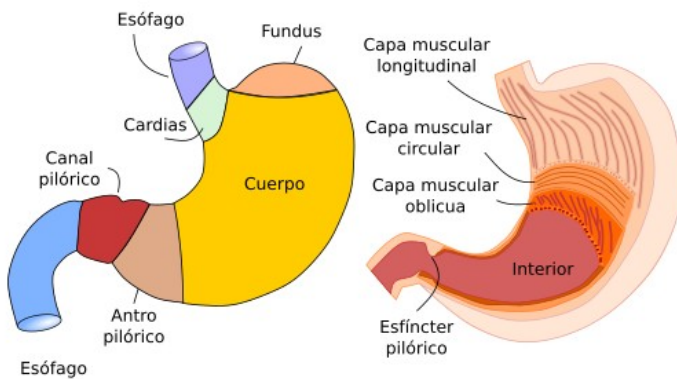


Figura 21: Partes del estómago y orientación de las fibras musculares en la capa muscular.

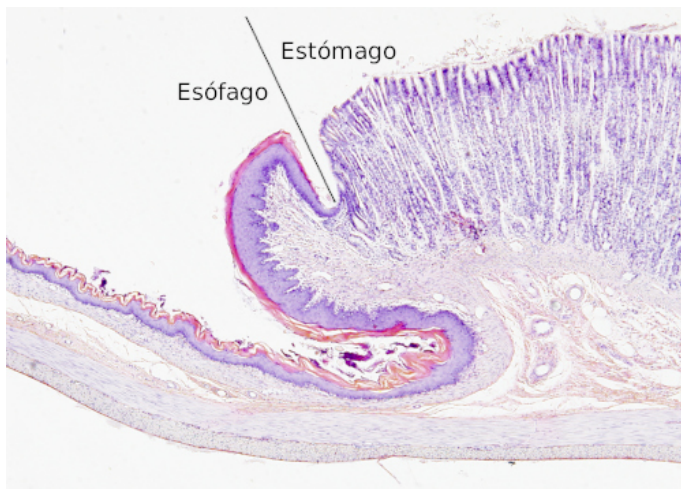


Figura 22: Transición entre esófago y estómago de un roedor. La línea negra marca la transición entre el esófago y el estómago. El esófago aparece como epitelio plano estratificado queratinizado.

Al estómago llega la comida masticada y humedecida con la saliva. En él permanece la comida varias horas mientras es movida por la musculatura estomacal y degradada gracias a la secreción de los jugos gástricos, los cuales están formados por ácido clorhídrico, enzimas y moco. Los diferentes componentes de los jugos gástricos son liberados por las células epiteliales. Entre las enzimas liberadas por las células estomacales están la pepsina, que degrada proteínas, o la lipasa, que degrada las grasas. Se liberan también moléculas que permiten la absorción de vitaminas, así como hormonas tales como la gastrina.

En el estómago se observan 4 partes: el cardias es la zona de unión con el esófago; el fundus es una región dilatada que forma una especie de bóveda que sobresale por encima del cardias; el cuerpo es la región más extensa del estómago; el antro pilórico es la región más pequeña del estómago que en forma de embudo se estrecha para unirse al intestino formando el píloro. Esta zona contiene el esfínter pilórico que permite el paso del contenido gástrico a la porción inicial del intestino delgado, el duodeno.

Al igual que el resto del digestivo, el estómago está formado por cuatro capas: la mucosa, la submucosa, la muscular y la serosa.

La mucosa del estómago está formada por un epitelio simple de células cilíndricas altas que forma pliegues muy compactados. En las zonas más profundas de esos pliegues se forman las fositas gástricas o foveolas, cavidades en las que desembocan las glándulas gástricas (Figuras 24 y 25). Éstas son tubulares simples o ramificadas. El epitelio de las foveolas está formado por células de revestimiento secretoras de moco que lubrican la superficie de la mucosa, y la protegen de posibles lesiones.

Basándonos en la histología de la mucosa encontramos únicamente tres zonas en el estómago con características propias: el cardias, la región fúndica, que engloba el fundus y el cuerpo, y la región pilórica que incluye el antro pilórico y el píloro.

En la zona del cardias se observa un paso brusco del epitelio estratificado plano del esófago al prismático simple, el cual se invagina para formar las foveolas, que en esta región son poco profundas. En su fondo

desembocan glándulas principalmente mucosas y de morfología túbulo alveolar, con características similares a las que se encuentran en el esófago. Pero en este caso, entre las células mucosas se localizan unas pocas células enteroendocrinas secretoras de gastrina, hormona que interviene en la motilidad del estómago y en la activación de células secretoras.

La región fúndica (comprende al fundus y al cuerpo) se diferencia en que las fositas de los pliegues de la mucosa son de una profundidad moderada, en el fondo de las cuales desembocan hasta siete glándulas gástricas. En este caso son glándulas tubulares, rectas y alargadas, llegando incluso hasta la muscular de la mucosa. La región más alta de la glándula recibe el nombre de cuello o istmo y en esta parte del estómago una glándula gástrica presenta cinco tipos celulares en

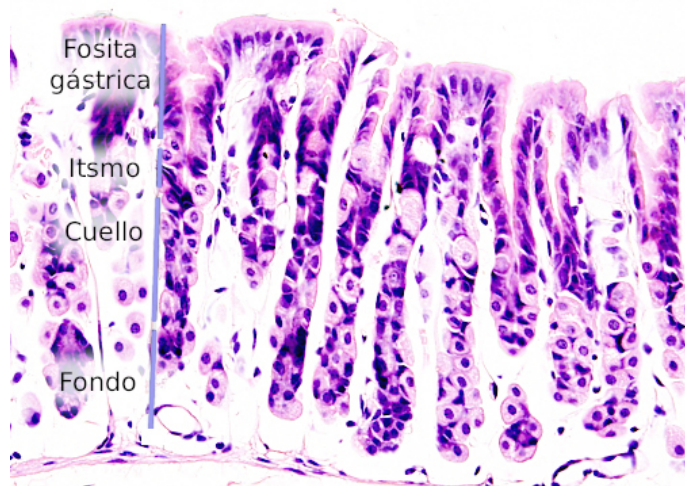


Figura 23: Epitelio estomacal mostrando sus especializaciones.

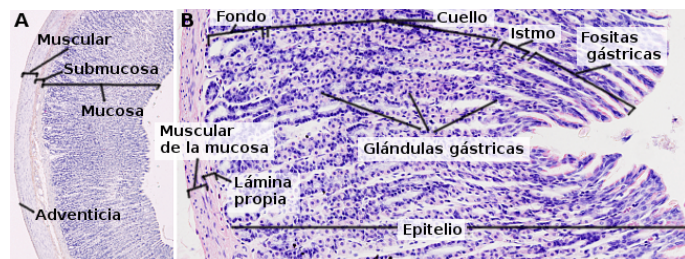


Figura 24: Transición entre esófago y estómago de un roedor. La línea negra marca la transición entre el esófago y el estómago. El esófago aparece como epitelio plano estratificado queratinizado.

su epitelio (aunque el número varía según las subdivisiones que se hagan en cada grupo) (Figura 26). En mayor o menor medida, estas células también aparecen en las otras regiones del estómago.

Las células mucosas del cuello producen un moco sulfatado líquido distinto del que secretan las células mucosas situadas más superficialmente en los pliegues. Se concentran en la región del cuello de la glándula fúndica.

Las células madre se encuentran en la parte superior del cuello y son responsables de la renovación del epitelio tanto de las células superficiales de revestimiento como de todos los tipos celulares de la glándula.

Las células parietales u oxínticas producen el ácido clorhídrico. Se distinguen claramente de las demás por su voluminoso citoplasma eosinófilo, tienen una forma más o menos triangular y a veces presentan

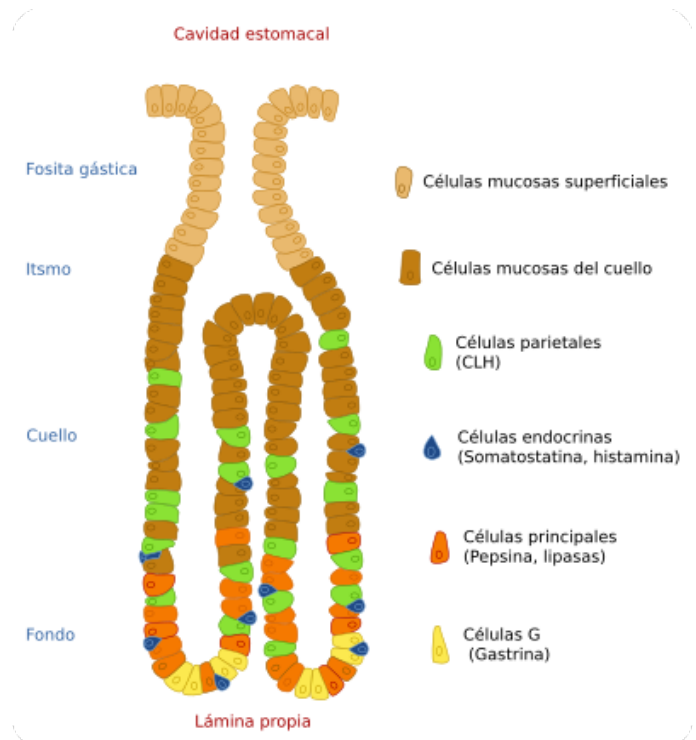


Figura 25: Tipos celulares más importantes que se encuentran en las glándulas gástricas. No se representan las células madre. Las células G es una variedad de células endocrinas liberadoras de hormonas, como somatostatina, gastrina, histamina, y otras.

dos núcleos. Se localizan principalmente en la parte del cuello, aunque también se encuentran en la parte más profunda de la glándula.

Las células principales son más pequeñas y de citoplasma basófilo ya que su producto de secreción es la pepsina, que se sintetiza en forma de pepsinógeno inactivo. Esta secreción está estimulada por la gastrina, la histamina y la acetilcolina. Sin embargo, son inhibidas por la somatostatina. Su localización en esta parte del estómago es principalmente en la parte inferior de la glándula.

Por último, las células endocrinas se distribuyen por toda la mucosa gástrica. Se diferencian por su morfología y sintetizan diversas hormonas y neurotransmisores.

Los últimos 5 cm del estómago constituyen la región pilórica que se caracteriza por la presencia de profundas foveolas y glándulas tubulosas ramificadas y enrolladas. Las células glandulares producen principalmente moco aunque también se localizan células parietales secretoras de pepsinas y células endocrinas secretoras de gastrina.

El epitelio del estómago descansa sobre una lámina basal bajo la cual se extiende la lámina propia de la mucosa. Esta capa está formada por tejido conjuntivo laxo rico en tejido linfóide difuso. Es delgada y contiene fibras de colágeno y reticulares. Debajo se encuentra la muscular de la mucosa que contiene dos capas, una con fibras musculares orientadas de forma circular y otra de forma longitudinal. A veces aparece una tercera orientada de forma oblicua.

La submucosa está formada por conectivo laxo con numerosos linfocitos y células plasmáticas. Contiene numerosos vasos sanguíneos y linfáticos.

Bajo la mucosa se encuentra la capa muscular formada por 3 capas de músculo liso: una interna oblicua, una intermedia circular y una externa longitudinal. Entre las capas longitudinal y circular se encuentran numerosas fibras nerviosas que forman el denominado plexo de Auerbach, las cuales coordinan las contracciones estomacales para digerir la comida.

La serosa del estómago es similar a la de otras partes del digestivo. Se continúa con el peritoneo de la cavidad abdominal y visceral.

6 Intestino delgado

A continuación del estómago se encuentra el intestino delgado, que se extiende desde el orificio pilórico hasta la unión íleocecal, donde se continúa con el intestino grueso. Es un conducto largo, en humanos puede medir más de 6 metros de largo, que se divide en tres zonas: una próxima o duodeno que mide unos 20 cm, una media o yeyuno que representa aproximadamente dos quintas partes de la longitud total y otra final más larga denominada íleon (Figura 27).

La mayor parte de la digestión que se da en el sistema digestivo ocurre en el intestino delgado. El quimo son las porciones de comida ya parcialmente degradada que son liberadas desde el estómago. Cuando llegan a la región del duodeno entran en contacto con las secreciones enzimáticas pancreáticas y sales biliares, las cuales degradan aún más los alimentos. Además, en la superficie de las células del epitelio del intestino delgado también hay enzimas que ayudan en la digestión. El intestino es también la parte del digestivo donde se produce una mayor absorción de los productos de la digestión, como los aminoácidos, azúcares y grasas. Además, se reabsorbe agua y electrolitos.

Al igual que el resto del tubo digestivo el intestino está formado por una mucosa, submucosa, muscular y una adventicia.

Mucosa

La mucosa del intestino delgado está formada por las tres capas típicas que aparecen en el resto del sistema digestivo: epitelio, lámina propia y muscular de la mucosa. La mucosa está caracterizada por la presencia de especializaciones cuyo objeto es aumentar la superficie interna del intestino. Con ello se consigue aumentar la superficie de absorción. En algunas especies, como en los humanos, existen unos repliegues alargados dispuestos circularmente o espiralmente denominados pliegues circulares o pliegues de Kerkring. Implican a toda la mucosa y son abundantes en la parte más anterior del intestino, pero desaparecen en el íleon.

La superficie del intestino está tapizada por otras expansiones de la mucosa más pequeñas, de 0.5 a 2

mm de longitud, en forma de dedo de guante, denominadas vellosidades intestinales (Figuras 27 y 28). En la zona del duodeno tienen el extremo distal romo, pero en las porciones del yeyuno e íleon se vuelven puntiagudas. Con ellas se aumenta enormemente la superficie epitelial y, por tanto, la cantidad de células epiteliales disponibles para la absorción. Cada vellosidad está formada por epitelio cilíndrico simple que recubre su superficie, mientras que en su interior hay tejido conectivo laxo que constituye parte de la lámina propia de la mucosa. En este tejido conectivo aparecen numerosas células del sistema inmune y algunas células musculares lisas, además de fibroblastos. Una red importante de capilares sanguíneos con endotelio fenestrado, es decir, con aberturas en sus paredes, se distribuye por el interior de cada vellosidad. Este entramado de capilares permite retirar con gran eficiencia las sustancias que han sido incorporadas por las células epiteliales. También dentro de la vellosidad hay vasos linfáticos.

En la base de las vellosidades se encuentran las aberturas de secreción de las glándulas intestinales o criptas de Lieberkühn. Estas glándulas poseen su porción secretora en la capa muscular de la mucosa y sus conductos secretores corren por la lámina propia hasta fusionarse con el epitelio intestinal.

Como hemos comentado, el tejido conectivo que forma la lámina propia se encuentra en las vellosidades, pero también bajo el epitelio de la base de dichas vellosidades, así como rodeando las glándulas intestinales. Además, de las numerosas células del sistema inmune, es frecuente encontrar en la lámina propia agrupaciones de estos tipos celulares formando nódulos. En la zona del íleon los nódulos pueden agregarse formando las denominadas placas de Peyer.

La muscular de la mucosa contiene dos capas de fibras una interna circular y otra más externa cuyas células se orientan longitudinalmente.

La responsabilidad de la absorción de los alimentos recae sobre las células del epitelio intestinal. Hay al menos 5 tipos celulares: enterocitos, células caliciformes, células de Paneth, células enteroendocrinas y células M.

Los enterocitos son las células más frecuentes y

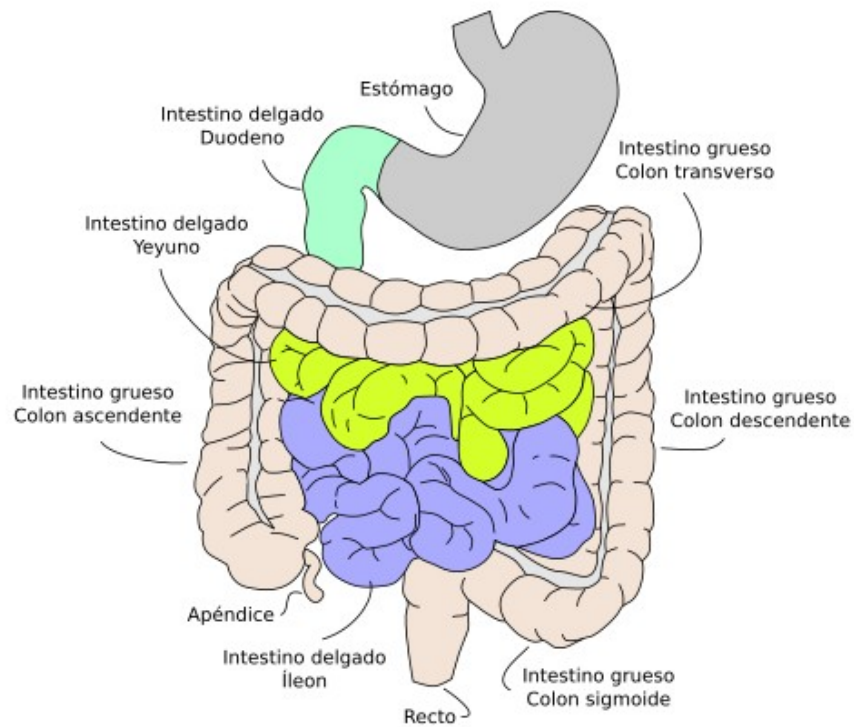


Figura 26: Esquema de las diferentes partes del intestino.

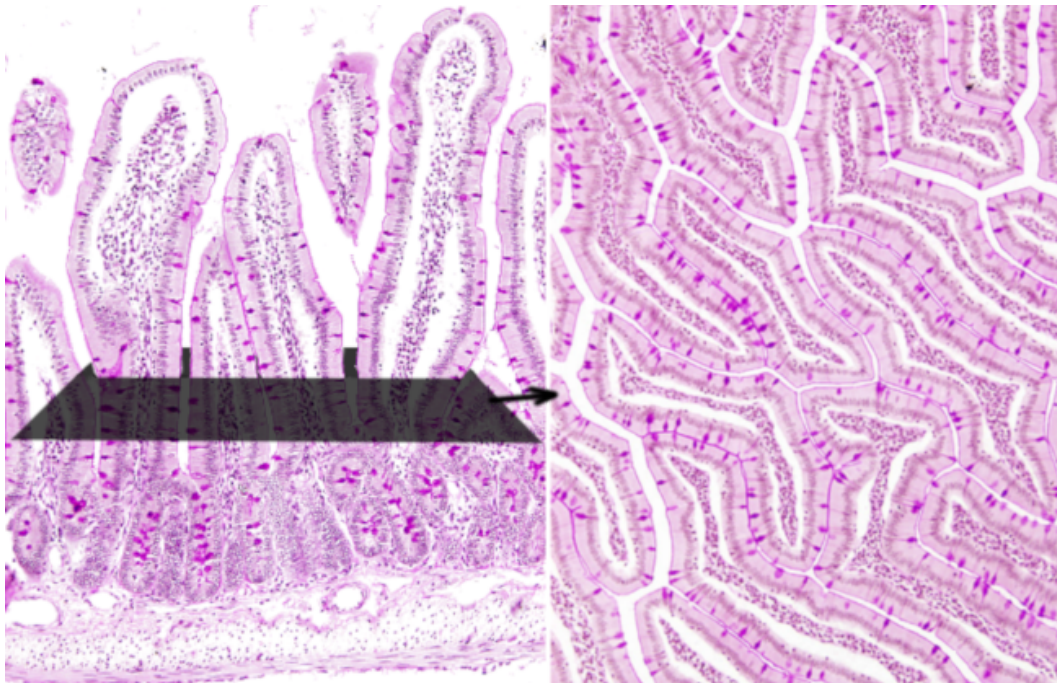


Figura 27: Imágenes del intestino delgado de ratona. La imagen de la derecha muestra cómo se organizan las vellosidades intestinales cuando se observan en un plano de corte horizontal, paralelo a la superficie intestinal.

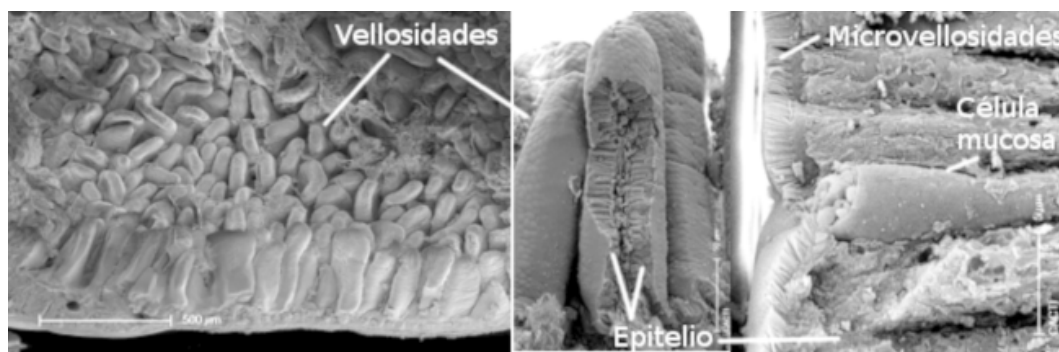


Figura 28: Imágenes tomadas con el microscopio electrónico de barrido correspondientes al intestino delgado donde se observan las vellosidades y también, a mayor aumento las microvellosidades del epitelio.

principales responsables de la absorción de los productos de la digestión, aunque también liberan enzimas digestivas. La superficie libre de los enterocitos está tapizada con multitud de microvellosidades que aumentan enormemente la superficie útil de la membrana citoplasmática para incorporar alimentos. Ese efecto de aumento de superficie mediante pliegues se suma a las vellosidades intestinales y a los pliegues circulares. Los espacios intercelulares entre los enterocitos están sellados mediante uniones estrechas y uniones adherentes que impiden el paso de los productos de la digestión de forma inespecífica a través del epitelio. Esto provoca que la mayoría de las moléculas resultantes de la digestión que son incorporadas debe pasar por el interior de un enterocito. Por lo tanto, el paso de sustancias desde el interior del tubo digestivo hasta los vasos sanguíneos es un proceso controlado y selectivo.

Las células caliciformes son menos numerosas que los enterocitos y, al igual que éstos, se distribuyen a lo largo de todo el intestino. Su misión es producir y liberar sustancias mucosas que recubren la superficie epitelial libre. Las células de Paneth se sitúan en la base de las vellosidades intestinales. Liberan distintos tipos de enzimas y parecen ser responsables del control de la flora bacteriana que habita el digestivo. Las células enteroendocrinas liberan hormonas intestinales como la secretina, colecistoquinina, péptido inhibidor gástrico y motilina. Cada una de ellas con diferentes funciones, como por ejemplo actuar sobre la actividad hepática o regular las contracciones peristálticas del intestino. Las células M

son células presentadoras de microorganismos y moléculas intestinales, que recogen en la luz del tubo digestivo, a las células del sistema inmune que se encuentran en la lámina media de la mucosa.

Submucosa

Está constituida por tejido conectivo denso, donde pueden aparecer adipocitos. En el duodeno la submucosa contiene las denominadas glándulas submucosas o de Brunner, especializadas en la producción de una solución muy alcalina que parece tener la función de neutralizar el pH enormemente ácido del quimo producido por el estómago.

Muscular externa

Está formada por dos capas de músculo liso, la interna con células orientadas circularmente, mientras que la externa lo hacen de forma longitudinal. Entre estas dos capas se encuentra el plexo de terminales nerviosas o plexo de Auerbach. Cada capa realiza un tipo de contracción con funciones diferentes. La capa interna provoca desplazamientos del material que se está digiriendo hacia adelante y hacia atrás, de manera que se mezcle bien con las sustancias digestivas y también para que se renueve el líquido en contacto con las células epiteliales. La capa longitudinal produce contracciones en forma de onda que provocan el avance del material en digestión a lo largo del intestino.

La **adventicia** es tejido conectivo que en algunas regiones está recubierto por el peritoneo.

7 Imagen; Intestino grueso

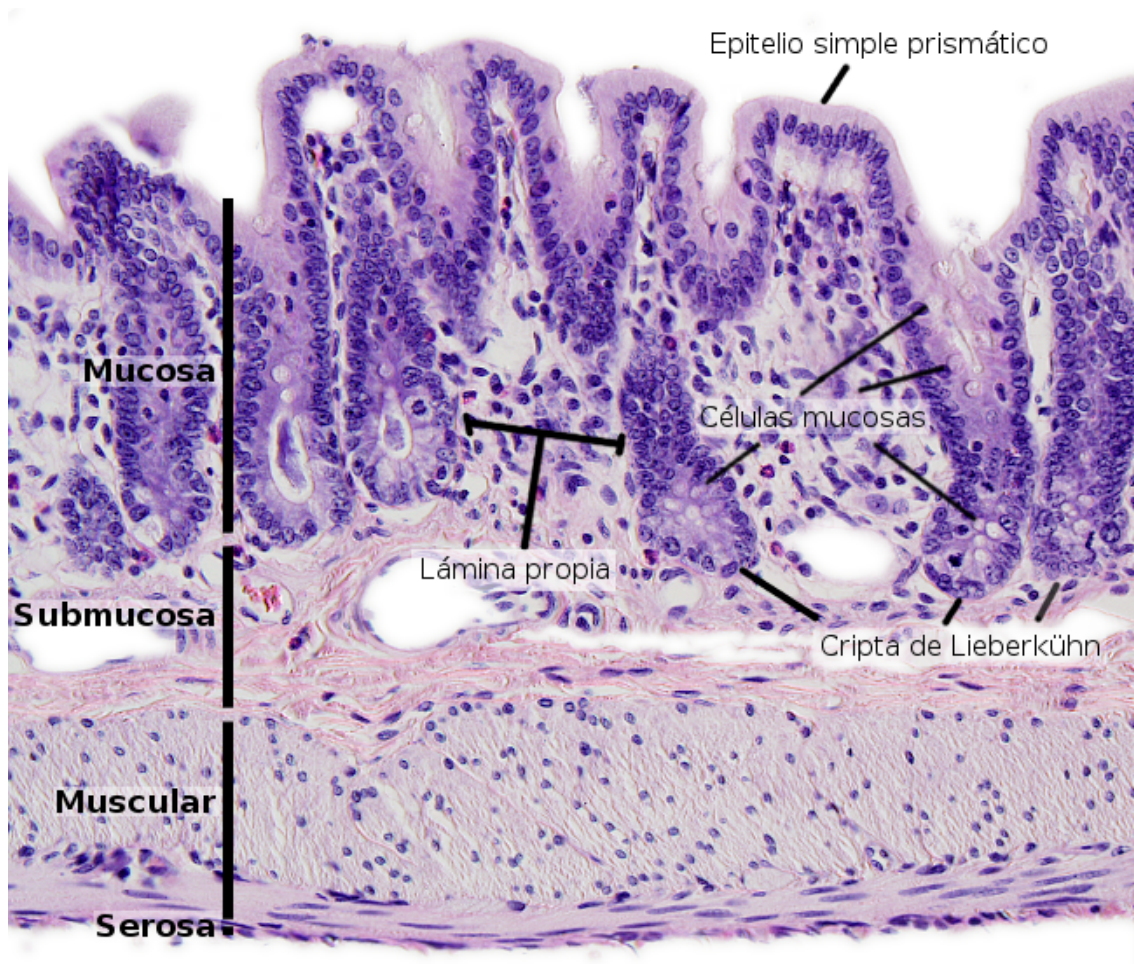


Figura 29: Órgano: Intestino grueso. Especie: Rata. (*Rattus norvegicus*). Técnica: Secciones de parafina teñidas con hematoxilina-eosina

El intestino grueso comprende la parte final del tubo digestivo y se divide a su vez en ciego, colon y recto. El colon posee una parte ascendente, una transversa, y una descendente, además del colon sigmoide. El intestino grueso se conecta al intestino delgado mediante la válvula o esfínter íleo-cecal. El ciego posee una ramificación muy delgada llamada apéndice, donde se acumulan muchos nódulos linfáticos. El recto se comunica con el exterior a través del ano. La zona donde el intestino grueso se une a la piel del ano se denomina unión ano-rectal. Aquí se produce la transición desde epitelio simple prismático a epitelio estratificado plano queratinizado, típico de

la epidermis. A este nivel existe un engrosamiento de la musculatura externa que forma el esfínter anal interno. También hay un esfínter externo formado por musculatura estriada.

El intestino grueso se extiende desde el íleo distal hasta el ano. La longitud media en adultos es de unos 1,3 metros, aunque puede variar desde 1,1 a 2,1 metros. Las partes más largas son el colon sigmoide y el transversal, con el 30 y el 27 % de la longitud total, respectivamente. El cecum ocupa un 3 % del total, el colon ascendente un 12 %, el descendente un 14 % y el recto un 14 %. A los 5 años ha conseguido la longitud, es decir, durante la niñez consigue la longitud fina.

El intestino grueso no tiene vellosidades ni pliegues circulares. Al igual que el resto del tracto digestivo, la pared del intestino grueso se puede dividir en 4 capas:

mucosa, submucosa, muscular y serosa.

La mucosa está formada por un epitelio simple cilíndrico que forma numerosas glándulas mucosas tubulares denominadas criptas de Lieberkühn. Éstas aparecen como invaginaciones de las superficie epitelial. Una de las principales funciones del intestino grueso es la reabsorción de agua y electrolitos del proceso digestivo. También secreta una gran cantidad de moco que favorece el tránsito de los desechos semisólidos no digeridos. Las células mucosas son más abundantes en el epitelio del intestino grueso que en el del intestino delgado. La proporción entre células absorbentes, denominadas enterocitos, y células mucosas cambia de 4 a 1 en la mayor parte del intestino grueso, y 1:1 en las zonas del recto. Las células epiteliales se renuevan constantemente: nacen en la base de las criptas y van desplazándose hacia la superficie del tubo digestivo donde mueren. Todo este proceso suele durar unos 5 días.

La lámina propia es similar a la del resto del tubo digestivo con sólo unas pocas peculiaridades como la

carencia de vasos linfáticos o de una capa gruesa de colágeno entre la membrana basal del epitelio y los vasos sanguíneos próximos.

La muscular de la mucosa normalmente se organiza en dos capas de músculo liso con distinta orientación. En algunas zonas es delgada.

La submucosa está formada por tejido conectivo muy denso. Contiene vasos sanguíneos de gran calibre y algunas zonas con tejido adiposo.

La capa muscular se organiza de forma distinta. Existe una capa longitudinal de músculo liso que es más delgada que la capa circular. En humanos, sin embargo, la capa longitudinal se engruesa en tres lugares concretos para formar bandas que se pueden observar a simple vista.

La serosa es una capa muy delgada de conectivo que en algunos puntos se continúa con el peritoneo. Se puede distinguir en ocasiones una capa intermedia entre la serosa y la muscular denominada capa subserosa.

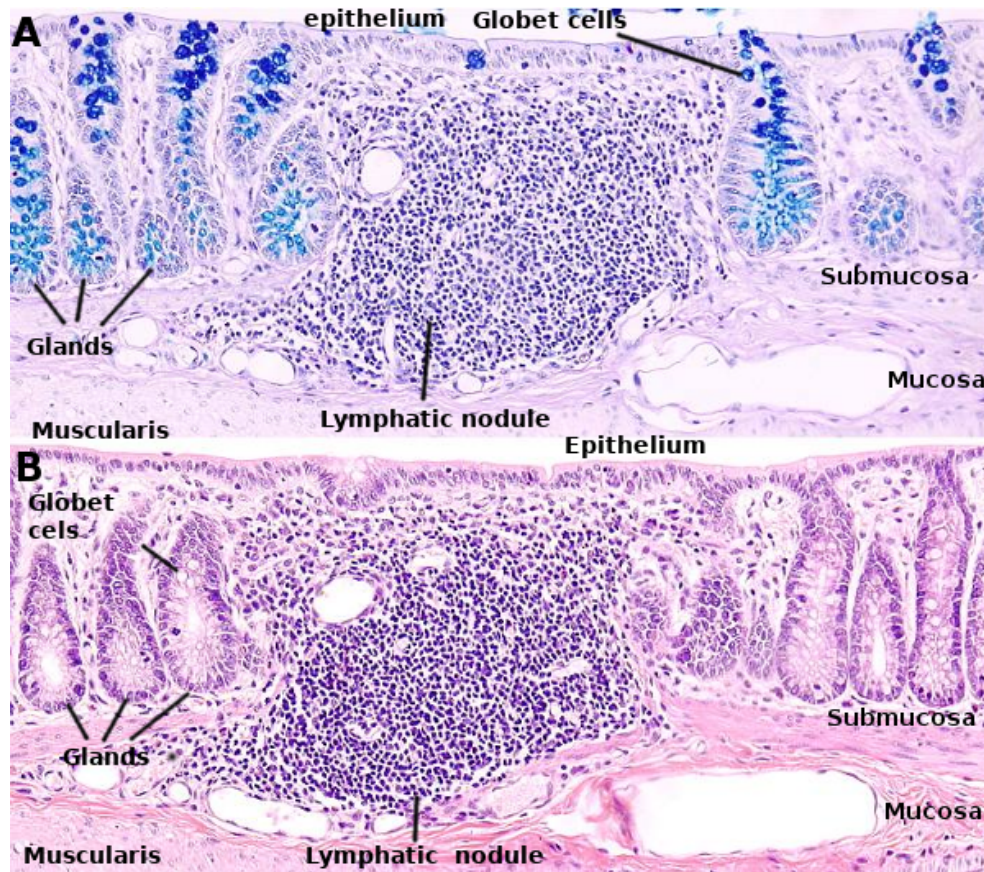


Figura 30: Intestino grueso de rata. La imagen A está teñida con hematoxilina-azul alcian, mientras que la B con hematoxilina eosina. Las células mucosas aparecen de azul con el azul alcian en la criptas de Lieberkühn. En la mucosa digestiva del intestino grueso es frecuente observar nódulos linfáticos, que invaden también la mucosa..

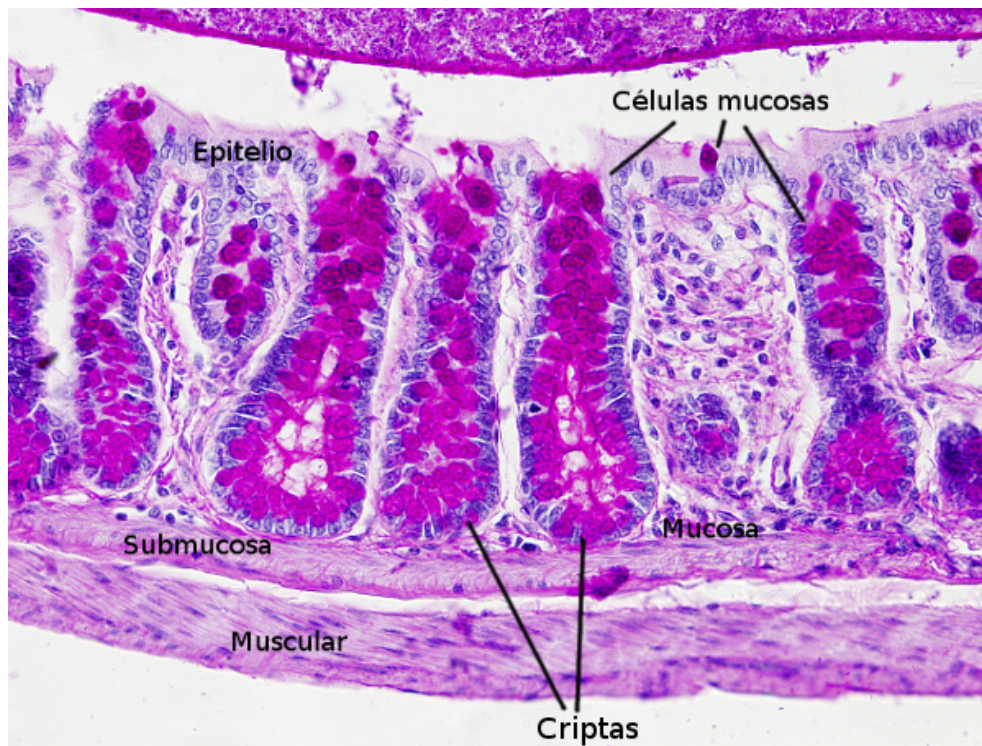


Figura 31: Intestino grueso de rata. La imagen muestra intestino grueso teñido con PAS-hematoxilina. Las células caliciformes aparecen de color rosado intenso.

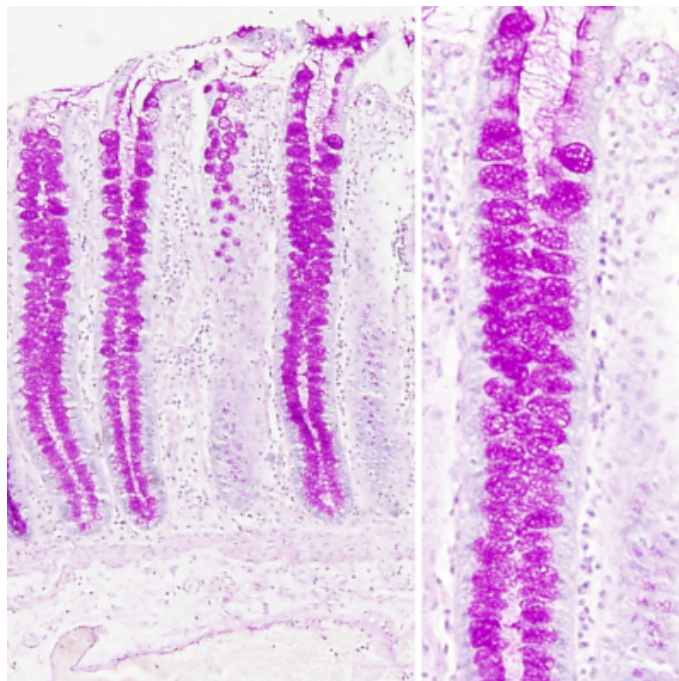


Figura 32: Intestino grueso de humano teñido con PAS-hematoxilina. Obsérvese la gran cantidad de células mucosas que se extienden hasta el fondo de la cripta.

8 Hígado y páncreas

Numerosas sustancias implicadas en la digestión se liberan al interior del tubo digestivo. Muchas de ellas se producen en glándulas alojadas en la pared del propio digestivo, como por ejemplo las glándulas gástricas del estómago o las criptas de Lieberkühn del intestino. Sin embargo, asociadas al tubo digestivo hay dos glándulas de gran tamaño implicadas también en la digestión: el hígado y el páncreas. Son consideradas como órganos más que como meras glándulas y, además de liberar componentes esenciales para la digestión de los alimentos, realizan otras importantes funciones para el organismo.

El hígado se forma durante el desarrollo embrionario a partir de una invaginación de la pared del tubo digestivo. Es la víscera más grande, en humanos pesa 1500 g. Realiza numerosas funciones como la producción de proteínas plasmáticas, mantiene la concentración de glucosa, vitaminas y otras sustancias nutritivas en sangre, es un centro detoxificador de primer orden, produce la bilis y también actúa como órgano endocrino. El hígado lleva a cabo rutas metabólicas antagónicas: síntesis y degradación de glucosa, degradación de lípidos y lipogénesis, hidrólisis de glutamina a glutamato y viceversa, y la producción y degradación de colesterol. Está fuertemente irrigado por arterias que provienen directamente del digestivo, el bazo y el páncreas. Aproxima-

damente el 75 % de la sangre que llega al hígado proviene del digestivo, mientras que el otro 25 % proviene de sangre arterial oxigenada.

Las secreciones del hígado, tanto endocrinas como exocrinas, son producidas por las células hepáticas o hepatocitos. Los hepatocitos constituyen el 80 % de la masa del hígado y el 60 % de sus células. Los hepatocitos se denominan también células parenquimáticas porque forman el parénquima del órgano. Además hay células no parenquimáticas como las células endoteliales, las células hepáticas estrelladas, colangiocitos o células que forman los conductos biliares, células de Küpfger, y células inmunes. La secreción exocrina hepática se denomina bilis y se recoge en canalículos hepáticos que la conducen hasta la vesícula biliar, donde se almacena. Desde este almacén temporal se libera al interior del duodeno cuando es necesaria durante la digestión.

El páncreas es una glándula alargada, mucho más pequeña que el hígado, localizada a la altura del duodeno. Tiene dos componentes u organizaciones celulares claramente diferenciados, no sólo fisiológicamente sino también estructuralmente: una endocrina y otra exocrina. La endocrina libera hormonas como la insulina y el glucagón, ambas reguladoras del metabolismo. El componente exocrino produce enzimas necesarias para la digestión que se liberan a la altura del duodeno.

9 Imagen; Hígado

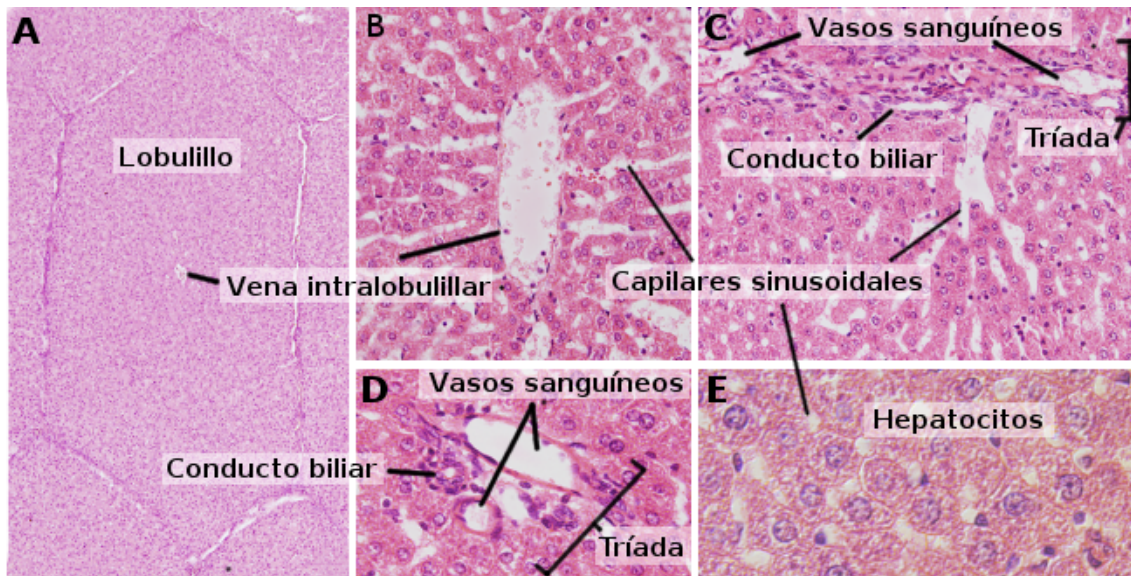


Figura 33: Órgano: hígado. Especie: rata (*Rattus norvegicus*; mamífero). Técnica: hematoxilina-eosina en cortes de 8 micras de parafina.

El hígado es la glándula, órgano, o víscera más grande del cuerpo. Está situado bajo el diafragma y protegido por las costillas, y lo recubre una cápsula de tejido conectivo fibroso (cápsula de Glisson) que penetra en el órgano para formar tabiques que lo dividen en lóbulos y lobulillos. La formación del hígado es a partir de una invaginación del tubo digestivo que se produce durante el desarrollo embrionario, por tanto tiene un origen epitelial. Los hepatocitos son las células que forman la mayor parte del hígado y son los principales responsables de su función. Una gran parte de la sangre que llega al hígado proviene de la vena porta que recoge los productos de la digestión que han sido absorbidos. Esta fuerte irrigación sanguínea es lo que hace que el hígado tenga un color rojizo. Las funciones del hígado están estrechamente relacionadas con las del tubo digestivo, pero no sólo con ellas.

La organización celular del hígado es relativamente sencilla puesto que es la repetición de una estructura básica denominada lobulillo hepático (Figura 33). Los lobulillos suelen estar separados entre sí por tejido conectivo, aunque no en todas las especies es claramente visible. Tienen forma de prisma poligonal que

mide de 1 a 2 mm de diámetro. En secciones transversales tiene una forma aproximada de hexágono con una vena central o centrolobulillar de gran diámetro. En los vértices del hexágono, entre lobulillos contiguos, se encuentran los espacios portales formados por tejido conectivo y por las denominadas tríadas portales, compuestas por una rama de la vena porta, una rama de la arteria hepática y un conductillo biliar. También poseen vasos linfáticos y fibras nerviosas.

La vena porta hepática trae el 70-75 % del flujo

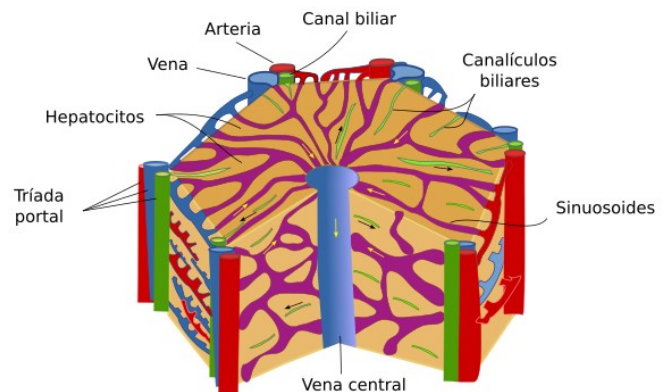


Figura 34: Esquema de los principales elementos de un lobulillo hepático. Las flechas indican la dirección del flujo.

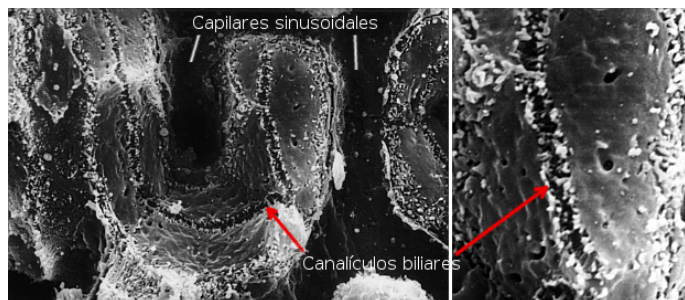


Figura 35: Imagen tomada con el microscopio electrónico de barrido en el que se muestran los hepatocitos del hígado. En ella se pueden apreciar los capilares sinusoidales entre las láminas de hepatocitos. Mientras que los canales irregulares de pequeño calibre son los canaliculos biliares, formados por las membranas celulares de los adipocitos.

sanguíneo (15 ml/min) y contiene sangre poco oxigenada y rica en nutrientes proveniente del tracto gastrointestinal, del bazo y del páncreas, mientras que la arteria hepática transporta sangre oxigenada desde la aorta. La sangre llega a los vasos sanguíneos portales de los vértices, los cuales traen las sustancias desde el sistema digestivo, mientras que la vena central drena el resultado de la actividad de los hepatocitos. Los vasos portales y la vena central se comunican gracias a capilares que discurren entre los hepatocitos denominados capilares sinusoidales (Figura 34), cuya pared está compuesta por una capa discontinua de células endoteliales fenestradas que carecen de membrana basal. Estos capilares discurren de forma radial, recogen el fluido de las venas portas y arterias de los vértices, además de la secreción endocrina de los hepatocitos, y confluyen en el centro del lobulillo para liberar su contenido en la vena centrolobulillar. La confluencia de las venas centrolobulillares da lugar a las venas hepáticas que finalmente drenan en la vena cava inferior.

Los conductos biliares, que forman parte de la tríada, recogerán el contenido exocrino de los hepatocitos que se denomina bilis. Esta excreción irá en sentido contrario a la corriente que discurre por los capilares sinusoidales, es decir, se dirige desde los hepatocitos hasta los conductos biliares de la periferia del lobulillo hepático. Esto es posible porque las membranas plasmáticas de hepatocitos continuos crean unos espacios interconectados que forman los

denominados canaliculos biliares, los cuales se organizan en una red anastomosada que termina por fusionarse con los conductos biliares.

Los hepatocitos suponen más del 75 % del hígado y se organizan en láminas o trabéculas con perforaciones, frecuentemente de una célula de espesor, que se fusionan entre sí para formar un entramado complejo de forma parecida a una esponja. Entre las láminas circulan los capilares sinusoidales que poseen un pequeño calibre, y entre el endotelio de éstos y los hepatocitos existen unos espacios acelulares denominados espacios perisinuosidales o espacios de Disse. Los hepatocitos liberan dos tipos de sustancias: endocrinas hacia los capilares sinusoidales y exocrinas hacia los canaliculos biliares. Son células relativamente grandes, unas 20 a 30 μ m, con núcleos redondeados, algunas son binucleadas, y la mayoría son tetraploides.

Los hepatocitos son los responsables de la secreción endocrina de una gran cantidad de proteínas plasmáticas como albúminas, lipoproteínas (transportan colesterol), glicoproteínas como la transferrina, protrombina y fibrinógenos (responsables de la coagulación sanguínea). También almacenan y modifican vitaminas tales como la A, la D o la K, y hormonas tales como hormona del crecimiento. La insulina y el glucagón son hormonas degradadas principalmente en el hígado. Son centros de detoxificación de primer orden, participando en el catabolismo de toxinas y moléculas externas al organismo (como la mayoría de los fármacos). Son importantes en el metabolismo de carbohidratos (gluconeogénesis, glucogenolisis y glucogenogénesis) y lípidos (síntesis de triglicéridos y colesterol). Además, sintetizan, a partir de amoníaco, la mayor cantidad de la urea que se produce en el organismo, y que posteriormente será excretada en los riñones. En el hígado también se elimina por fagocitosis un 20 % de los glóbulos rojos envejecidos (el 80 % restante se elimina en el bazo) por medio de macrófagos denominados células de Kupffer.

Los hepatocitos producen la bilis, que es recogida en los canaliculos biliares que desembocan en los conductos biliares. Éstos drenan en los conductos hepáticos derecho e izquierdo, los cuales salen del hígado y convergen en un sólo conducto denominado conducto

hepático común, al cual está conectado el almacén temporal de la bilis que es la vesícula biliar a través del conducto cístico. Finalmente, la bilis se conduce hasta el duodeno a través del conducto biliar común. Es una solución acuosa que contiene productos de deshecho que son enviados al intestino y eliminados, pero la bilis también contiene componentes útiles que ayudan a la digestión como sales biliares, proteínas, colesterol y hormonas. Las sales biliares ayudan en la digestión de las grasas.

10 Imagen; Páncreas

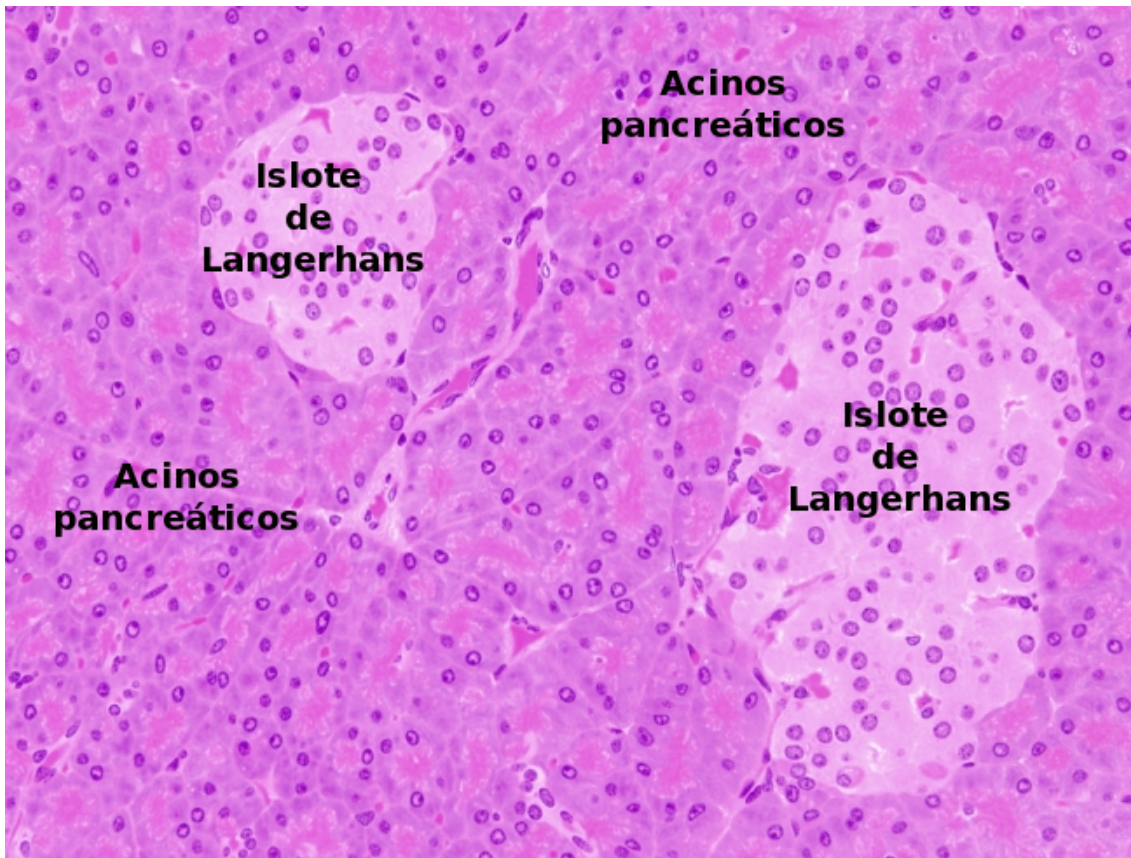


Figura 36: Órgano: páncreas. Especie: ratón (*Mus musculus*; mamífero). Técnica: hematoxilina-eosina en cortes de 8 micras de parafina.

El páncreas es un órgano alargado localizado en la concavidad del duodeno, al que está unido por tejido conectivo, y se extiende hasta el hilio del bazo. Está rodeado por una capa muy fina de tejido conectivo que en ciertos lugares se interna en el órgano formando tabiques. El páncreas se divide en una parte endocrina y otra exocrina. Este órgano se origina a partir de dos invaginaciones del tubo digestivo, aunque algunas células de los islotes endocrinos provienen de las crestas neurales, células derivadas del ectodermo.

Páncreas exocrino

La parte pancreática exocrina se puede considerar como una glándula compuesta túbulo-acinar muy grande. La parte secretora está formada por acinos tubulares o piriformes que contienen un pro-

odio de unas 6 células. No se han encontrado células mioepiteliales. Los conductos excretores están formados inicialmente por unas células denominadas centroacinares que se internan y revisten las paredes de las células acinares próximas a la abertura. Entre los acinos hay tejido conectivo con vasos sanguíneos, linfáticos y nervios.

Las células acinares son de forma piramidal y poseen un núcleo redondeado y basal, su citoplasma es basófilo con un alto contenido de retículo endoplasmático rugoso y gránulos de secreción. A estos gránulos se les denomina gránulos de zimógeno. La producción de las células acinares, junto con las sustancias liberadas por los conductos excretores, se denomina en su conjunto jugo pancreático. Éste contiene sobre todo enzimas proteolíticas como la tripsina y quimotripsina, carboxipeptidasas, nucleasas, amilasas y lipasas. Todas estas enzimas son producidas y secretadas en forma inactiva, como proenzimas que

se activarán una vez que hayan alcanzado el interior del intestino.

Las células centroacinares recogen inicialmente esta secreción y forman los conductos intercalares, los cuales vierten a los conductos interlobulillares y desde aquí se llega al conducto colector principal (Figura 36). El colédoco, conducto que recoge la bilis del hígado, se fusiona con este conducto principal del páncreas. De esta fusión resulta una dilatación denominada ampolla hematopancreática, la cual se fusiona con el duodeno. La transición entre distintos tipos de conductos es gradual, y las células que forman el conducto van transformándose de aplanadas a cilíndricas. El jugo gástrico se basifica desde el comienzo de su encauzamiento por sustancias liberadas desde las células de los conductos, empezando en las propias células centroacinares. Con ello se consigue neutralizar el contenido muy ácido procedente del estómago.

Páncreas endocrino

La parte endocrina del páncreas se dispone de for-

ma dispersa entre la parte exocrina. Las células endocrinas se agrupan formando los denominados islotes de Langerhans (Figura 2), originando masas más o menos esféricas. En tinciones generales se distinguen de la parte exocrina por poseer un color más rosado o tenue. Entre las células de los islotes de Langerhans y los acinos pancreáticos sólo hay una delgada e incompleta capa de conectivo con fibras reticulares (Figura 37). Con tinciones específicas se pueden detectar 4 tipos celulares productores de hormonas: las células *alpha* (secretan glucagón), células *beta* (secretan insulina), células *gamma* (secretan somatostatina) y células F (secretan polipéptido pancreático).

La secreción del páncreas, tanto la exocrina como la endocrina están influidas por la actividad del tubo digestivo. De hecho, hormonas liberadas durante la digestión, como la gastrina, la secretina y la CCK (pancreocimina) aumentan la actividad secretora exocrina y la endocrina. Además, la actividad del páncreas está regulado por el sistema nervioso autónomo.

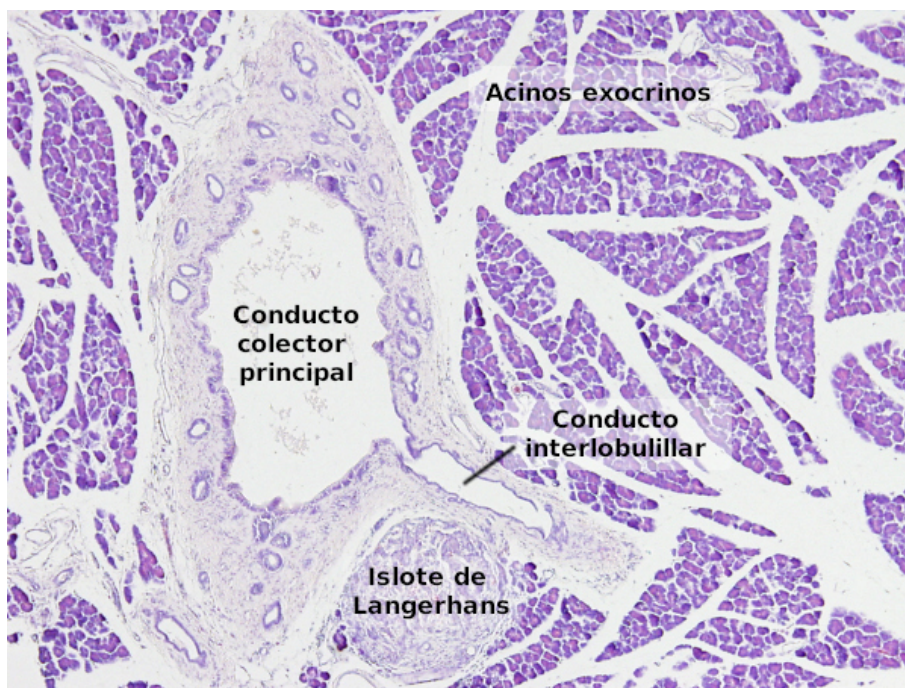


Figura 37: El conducto colector principal recoge el contenido exocrino de los conductos interlobulillares.

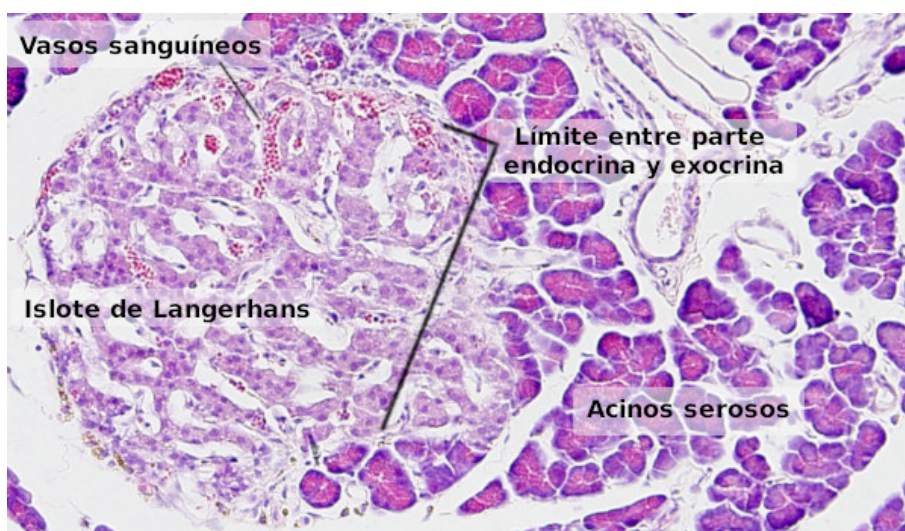


Figura 38: Imagen donde se muestra un islote de Langerhans rodeado por acinos pancreáticos. Se puede observar una lámina de tejido conectivo separando ambas partes. Páncreas de rata teñido con hematoxilina-eosina.