

El aparato digestivo

El aparato digestivo y la homeostasis

El aparato digestivo contribuye a la homeostasis degradando los alimentos de manera que las células del organismo puedan absorberlos y utilizarlos. También absorbe agua, vitaminas y minerales y elimina desechos.





Los alimentos que ingerimos contienen gran variedad de nutrientes, que se utilizan para formar nuevos tejidos y reparar los dañados. Los alimentos son también imprescindibles para la vida porque constituyen la única fuente de energía química. Sin embargo, la mayoría de los alimentos que ingerimos consisten en moléculas que son demasiado grandes para ser usadas por las células. Por lo tanto, deben reducirse a moléculas lo suficientemente pequeñas como para entrar en las células, proceso conocido como **digestión**. Los órganos que intervie-

nen en la degradación de los alimentos forman el **aparato digestivo**.

La especialidad médica que estudia la estructura y la función del estómago y el intestino, así como el diagnóstico y el tratamiento de sus enfermedades es la **gastroenterología** (gastro-, de *gastros*, estómago; entero-, de *enteron*, intestino, y -logía, de *lógos*, estudio).

La rama de la medicina dedicada al diagnóstico y tratamiento de las enfermedades del recto y ano se llama **proctología** (procto, de *proktós*, ano).

GENERALIDADES DEL APARATO DIGESTIVO

▶ OBJETIVOS

Identificar los órganos del aparato digestivo.

Describir los procesos básicos que se llevan a cabo en el aparato digestivo.

Dos grupos de órganos componen el aparato digestivo (fig. 24-1): el tracto gastrointestinal (GI) y los órganos digestivos accesorios.

El tracto gastrointestinal (GI), o tubo digestivo, es un tubo continuo que se extiende desde la boca hasta el ano. Entre los órganos del tracto gastrointestinal se incluye la boca, gran parte de la faringe, el esófago, el estómago, el intestino delgado y el intestino grueso. La longitud del tracto GI medido en un cadáver es aproximadamente de 9 metros. En el individuo vivo es mucho más corto porque los músculos de las paredes de los órganos del tracto GI tienen un tono basal permanente (contracción sostenida). Entre los **órganos digestivos accesorios** se hallan los dientes, la lengua, las glándulas salivales, el hígado, la vesícula biliar y el páncreas. Los dientes colaboran en la degradación física de los alimentos y la lengua participa en la masticación y la deglución. Los otros órganos digestivos accesorios nunca entran en contacto directo con los alimentos, sino que producen y almacenan sustancias que pasan al tracto GI a través de conductos; estas secreciones contribuyen a la degradación química de los alimentos.

Básicamente, el aparato digestivo realiza seis procesos:

1. **Ingestión.** Este proceso implica la ingestión de alimentos sólidos y líquidos por la boca.

2. **Secreción.** Cada día, las células del tracto GI y de los órganos digestivos accesorios secretan en total unos 7 litros de agua, ácido, buffers (sustancias amortiguadoras) y enzimas hacia la luz (espacio interior) del tubo.

3. **Mezcla y propulsión.** Mediante la contracción y relajación alternadas del músculo liso de las paredes del tracto GI, se mezclan el alimento y las secreciones y éstos son propulsados hacia el ano. La capacidad del tracto GI de mezclar y transportar el material en toda su longitud se denomina **motilidad**.

4. **Digestión.** Mediante procesos mecánicos y químicos convierte a los alimentos ingeridos en moléculas más pequeñas. En la **digestión mecánica** los dientes cortan y trituran los alimentos antes de la deglución, y luego el músculo liso del estómago y el intestino delgado se encargan de mezclarlos. De esta manera, las moléculas se disuelven y se mezclan completamente con las enzimas digestivas. En la **digestión química**, grandes moléculas de hidratos de carbono,

lípidos, proteínas y ácidos nucleicos de los alimentos se dividen en moléculas más pequeñas por hidrólisis (véase fig. 2-15). Las enzimas digestivas producidas por las glándulas salivales, la lengua, el estómago, el páncreas y el intestino delgado catalizan esas reacciones catabólicas. Pocas sustancias pueden absorberse sin digestión química. Éstas comprenden las vitaminas, iones, colesterol y agua.

5. **Absorción.** El ingreso de los líquidos secretados, los iones y los productos de la digestión en las células epiteliales que revisten la luz del tracto GI se llama **absorción**. Estas sustancias absorbidas pasan a la circulación sanguínea o linfática y llegan a las células de todo el organismo.

6. **Defecación.** Los residuos, las sustancias indigeribles, las bacterias, las células descamadas del revestimiento GI y los materiales digeridos pero no absorbidos en su trayecto por el tubo digestivo abandonan el cuerpo a través del ano en el proceso de defecación. El material eliminado constituye la materia fecal o heces.

▶ PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. ¿Qué componentes del aparato digestivo son órganos del tracto GI y cuáles son órganos digestivos accesorios?
2. ¿Qué órganos del aparato digestivo entran en contacto con los alimentos, y qué funciones cumplen en la digestión?
3. ¿Qué clase de moléculas sufren digestión química, y cuáles no?

CAPAS DEL TRACTO GASTROINTESTINAL

▶ OBJETIVO

Describir la estructura y la función de las capas que constituyen la pared del tubo digestivo o tracto GI.

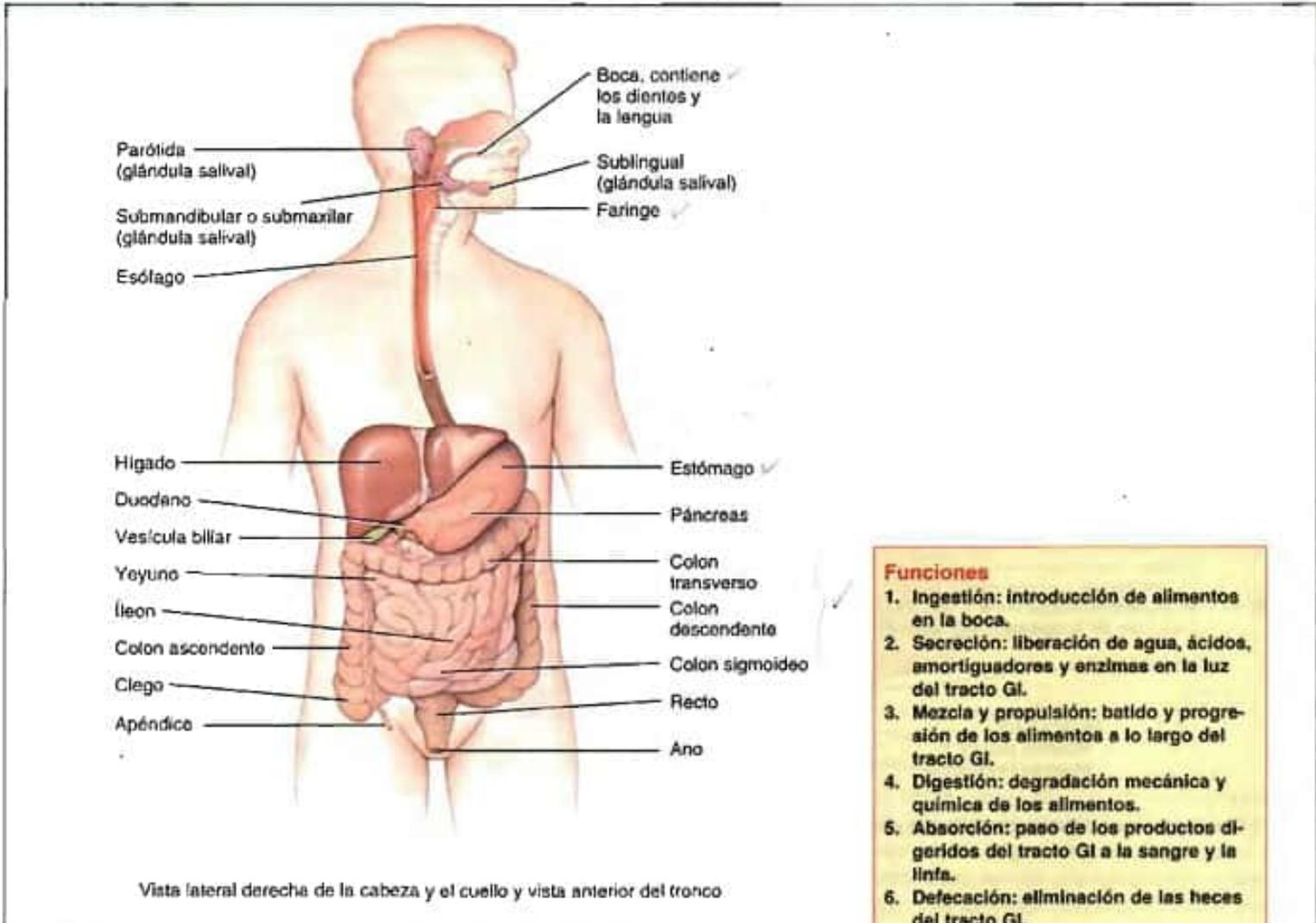
La pared del tracto GI desde el esófago inferior hasta el conducto anal presenta la misma estructura básica con cuatro capas de tejido, que de la profundidad a la superficie son: mucosa, submucosa, muscular y serosa (fig. 24-2).

Mucosa

La **mucosa**, o revestimiento interior del tracto GI es, como su nombre lo indica, una membrana mucosa. Está compuesta por 1) una capa de epitelio en contacto directo con el contenido luminal, 2) una capa de tejido conectivo llamado **lámina propia** y 3) una fina capa de músculo liso (*muscularis mucosae*).

Fig. 24-1 Órganos del aparato digestivo.

Los órganos del tracto gastrointestinal (GI) son la boca, la faringe, el esófago, el estómago, el intestino delgado y el intestino grueso. Los órganos digestivos accesorios están representados por los dientes, la lengua, las glándulas salivales, el hígado, la vesícula biliar y el páncreas.



Funciones

1. **Ingestión:** introducción de alimentos en la boca.
2. **Secreción:** liberación de agua, ácidos, amortiguadores y enzimas en la luz del tracto GI.
3. **Mezcla y propulsión:** batido y progresión de los alimentos a lo largo del tracto GI.
4. **Digestión:** degradación mecánica y química de los alimentos.
5. **Absorción:** paso de los productos digeridos del tracto GI a la sangre y la linfa.
6. **Defecación:** eliminación de las heces del tracto GI.

¿Qué estructuras del aparato digestivo secretan enzimas digestivas?

1. El **epitelio** de la boca, faringe, esófago y conducto anal está constituido principalmente por epitelio pavimentoso o plano estratificado no queratinizado, que cumple funciones protectoras. Un epitelio cilíndrico simple con funciones de secreción y absorción revisita el estómago y el intestino. Las uniones estrechas que asocian íntimamente a las células del epitelio simple entre sí restringen las filtraciones intercelulares. La velocidad de renovación de las células epiteliales del tracto GI es rápida: cada 5 a 7 días se descaman y son reemplazadas por células nuevas. Localizadas entre las células epiteliales, existen células exocrinas que secretan mucus y líquido hacia la luz del tubo y diversos tipos de células endocrinas, llamadas **células enteroendocrinas**, que secretan hormonas en la sangre.

2. La **lámina propia** es tejido conectivo areolar que contiene muchos capilares sanguíneos y vasos linfáticos, a lo largo de los

cuales los nutrientes absorbidos en el tracto GI llegan a los otros tejidos del cuerpo. Esta capa sostiene al epitelio y lo fija a la capa muscular de la mucosa (véase más adelante). La lámina propia contiene además la mayor parte de las células del **tejido linfático asociado con la mucosa (MALT)**. Estos nódulos linfáticos voluminosos contienen células del sistema inmunitario que protegen contra las enfermedades (véase cap. 22). El MALT se presenta a lo largo de todo el tubo digestivo, especialmente en las amígdalas, el intestino delgado, el apéndice y el intestino grueso.

3. Una fina capa de fibras musculares lisas llamadas **muscularis mucosae** forma en la membrana mucosa del estómago y del intestino delgado gran cantidad de pequeños pliegues, los cuales incrementan la superficie de digestión y absorción. Los movimientos de esta capa aseguran que todas las células encargadas de

CUADRO 24-1 Resumen de las funciones digestivas en la boca

Estructura	Actividad	Resultado
Mejillas y labios	Mantienen la comida entre los dientes	Alimentos uniformemente desmenuzados durante la masticación
Glándulas salivales	Secretan saliva	Mantienen la boca y la faringe húmedas y lubricadas. La saliva ablanda, humedece y disuelve los alimentos y limpia la boca y los dientes. La amilasa salival degrada el almidón en moléculas más pequeñas
Lengua		
Músculos extrínsecos	Mueven a la lengua lateralmente y de adentro afuera	Mueven los alimentos para la masticación, forman el bolo y lo acomodan para la deglución
Músculos intrínsecos	Alteran la forma de la lengua	Deglución y habla
Corpúsculos o botones gustativos	Sirven como receptores del gusto y detectan la presencia de alimento en la boca	Secreción de saliva estimulada por impulsos nerviosos que van de los corpúsculos gustativos a los núcleos salivales del tronco encefálico y de éstos a las glándulas salivales
Glándulas linguales	Secretan lipasa lingual	Degradan los triglicéridos en ácidos grasos y diglicéridos
Dientes	Cortan, desgarran y desmenuzan los alimentos	Reduce los alimentos sólidos en partículas más pequeñas para su deglución

FARINGE

► OBJETIVO

Describir la localización y función de la faringe.

Cuando los alimentos se degluten, pasan de la boca a la **faringe** (de *phárinx*, garganta), un conducto con forma de embudo que se extiende desde las coanas u orificios posteriores de las fosas nasales, hacia el esófago por detrás y la laringe por delante (véase *fig. 23-4*). La faringe está constituida por músculo esquelético y revestida por mucosa y comprende tres partes: la nasofaringe, la orofaringe y la laringofaringe. La nasofaringe interviene sólo en la respiración, pero la orofaringe y la laringofaringe tienen tanto funciones digestivas como respiratorias. Los alimentos ingeridos pasan de la boca a la orofaringe y la laringofaringe; las contracciones musculares de estos segmentos ayudan a propulsarlos hacia el esófago de allí hasta el estómago.

► PREGUNTAS DE REVISIÓN

14. ¿A qué dos sistemas o aparatos pertenece la faringe?

ESÓFAGO

► OBJETIVO

Describir la localización, anatomía, histología y funciones del esófago.

El **esófago** (eso-, de *oísein*, llevar, y fago, de *phagéma*, alimento) es un tubo muscular colapsable, de alrededor de 25 cm de longitud, situado por detrás de la tráquea. Comienza en el límite inferior de la laringofaringe y atraviesa el mediastino por delante de la columna vertebral. Luego pasa a través del diafragma por un orificio denominado **hiato esofágico** y termina en la porción superior del estómago (véase *fig. 24-1*). A veces, parte del estómago protruye por encima del diafragma a través del hiato esofágico. Esta protrusión, llamada **hernia hiatal**, se describe al final de este capítulo.

Histología del esófago

La **mucosa** del esófago consiste en un epitelio pavimentoso estratificado no queratinizado, la lámina propia (tejido conectivo areolar) y la **muscularis mucosae** (músculo liso) (*fig. 24-9*). Cerca del estómago, la mucosa del esófago también contiene glándulas mucosas. El epitelio pavimentoso estratificado de los labios, la boca, la lengua, la orofaringe, la laringofaringe y el esófago brinda considerable protección contra la abrasión por las partículas de alimento que se mastican, se mezclan con secreciones y se degluten. La **submucosa** contiene tejido conectivo areolar, vasos sanguíneos y glándulas mucosas. La **túnica muscular** del tercio superior del esófago es músculo esquelético, en el tercio intermedio hay músculo esquelético y músculo liso, y el tercio inferior presenta músculo liso. En cada extremo del esófago, la muscular se vuelve típicamente más prominente y forma dos esfínteres: el **esfínter esofágico superior (EES)**, que consiste en músculo esquelético, y el **esfínter esofágico inferior (EEI)**, que consiste en músculo liso. El esfínter esofágico superior regula la progresión del alimento desde la faringe hacia el esófago y el esfínter esofágico inferior hace lo propio desde el esófago hacia el estómago. La capa superficial del esófago se conoce como **adventicia**, más que serosa, porque el tejido conectivo areolar de esta capa no está cubierto por mesotelio y se mezcla con el tejido conectivo de las estructuras del mediastino a través de las cuales pasa. La adventicia une el esófago a las estructuras que lo rodean.

Fisiología del esófago

El esófago secreta moco y transporta alimentos hacia el estómago. No produce enzimas digestivas y no cumple funciones de absorción.

► PREGUNTAS DE REVISIÓN

15. Describa la localización y la histología del esófago. ¿Cuál es su papel en la digestión?
16. ¿Cuáles son las funciones de los esfínteres superior e inferior del esófago?

CUADRO 24-2 Resumen de las funciones digestivas en la faringe y el esófago

Estructura	Actividad	Resultado
Faringe	Fase faríngea de la deglución	Paso del bolo de la orofaringe a la laringofaringe y al esófago; cierra el paso de aire
Esófago	Relajación del esfínter esofágico superior	Permite el paso del bolo de la laringofaringe al esófago
	Fase esofágica de la deglución (peristalsis)	Impulsa el bolo hacia abajo
	Relajación del esfínter esofágico inferior	Permite la entrada del bolo en el estómago
	Secreción de moco	Lubrica el esófago para facilitar el paso del bolo

queantes de los receptores de la histamina-2 (H_2) por ejemplo el Tagamet HB[®] o Pepecid[®], 30 a 60 minutos antes de comer para bloquear la secreción ácida, y la neutralización del ácido que ya ha sido secretado con antiácidos como Tums[®] o Malos[®]. Hay menos probabilidades de que aparezcan síntomas si se ingieren alimentos en pequeñas cantidades y si el paciente no se acuesta inmediatamente después de la comida. El reflujo gastroesofágico puede asociarse con cáncer de esófago. ■

► PREGUNTAS DE REVISIÓN

- ¿Qué significa la deglución?
- ¿Qué ocurre durante las fases voluntaria y faríngea de la deglución?
- ¿La peristalsis “empuja” o “tira” los alimentos a lo largo del tracto gastrointestinal?

ESTÓMAGO

► OBJETIVO

Describir la localización, anatomía, histología y funciones del estómago.

El estómago es un ensanchamiento con forma de J del tubo digestivo, localizado por debajo del diafragma en el epigastrio, la región umbilical y el hipocondrio izquierdo (véase fig. 1-12a). Conecta el esófago con el duodeno, la primera porción del intestino delgado (fig. 24-11). Como los alimentos se ingieren más rápidamente de lo que el intestino puede digerir y absorber, una de las funciones del estómago es servir como una cámara de mezclado y reservorio de los alimentos. Después de la ingestión de éstos, el estómago fuerza a intervalos convenientes una pequeña cantidad de material hacia la primera porción del intestino delgado. La posición y el tamaño del estómago varían continuamente; el diafragma lo presiona hacia abajo en cada inspiración y lo arrue hacia arriba en cada espiración. Cuando está vacío, tiene el tamaño de una salchicha grande, pero es

la porción más distensible del tracto GI y puede dar cabida en su interior a una enorme cantidad de alimentos. En el estómago continúa la digestión del almidón, comienza la digestión de proteínas y triglicéridos, el bolo semisólido se convierte en líquido y algunas sustancias se absorben.

Anatomía del estómago

El estómago tiene cuatro regiones principales: el cardias, el fundus, el cuerpo y el píloro (fig. 24-11). El cardias rodea el orificio superior del estómago. La porción redondeada que está por encima y hacia la izquierda del cardias es el fundus. Por debajo del fundus se extiende la porción central del estómago, llamado cuerpo. La región del estómago que lo conecta con el duodeno es el píloro (pil-, de *pylō*, puerta, y -oro, de *aurōs*, guardar); tiene dos partes, el **antro pilórico** (de *antrum*, cavidad o caverna), que conecta con el cuerpo del estómago, y el **canal pilórico**, que conduce hacia el duodeno. Cuando el estómago está vacío, la mucosa se dispone en grandes pliegues, que pueden reconocerse a simple vista. El píloro comunica con el duodeno a través del **esfínter pilórico**. El borde interno cóncavo del estómago se llama **curvatura menor**, y el borde externo convexo es la **curvatura mayor**.



Espasmo pilórico y estenosis pilórica

Dos anomalías del esfínter pilórico pueden presentarse en los lactantes. En el **espasmo pilórico**, las fibras musculares no experimentan la relajación normal, de modo que los alimentos no pueden pasar fácilmente del estómago al intestino delgado, el estómago se distiende demasiado y los niños a menudo vomitan para aliviar la presión. El espasmo del píloro se trata con fármacos que relajan las fibras musculares del esfínter pilórico. La **estenosis pilórica** es un estrechamiento del esfínter pilórico que debe corregirse quirúrgicamente. El síntoma distintivo es el **vómito en chorro**: la expulsión de vómito líquido a distancia. ■

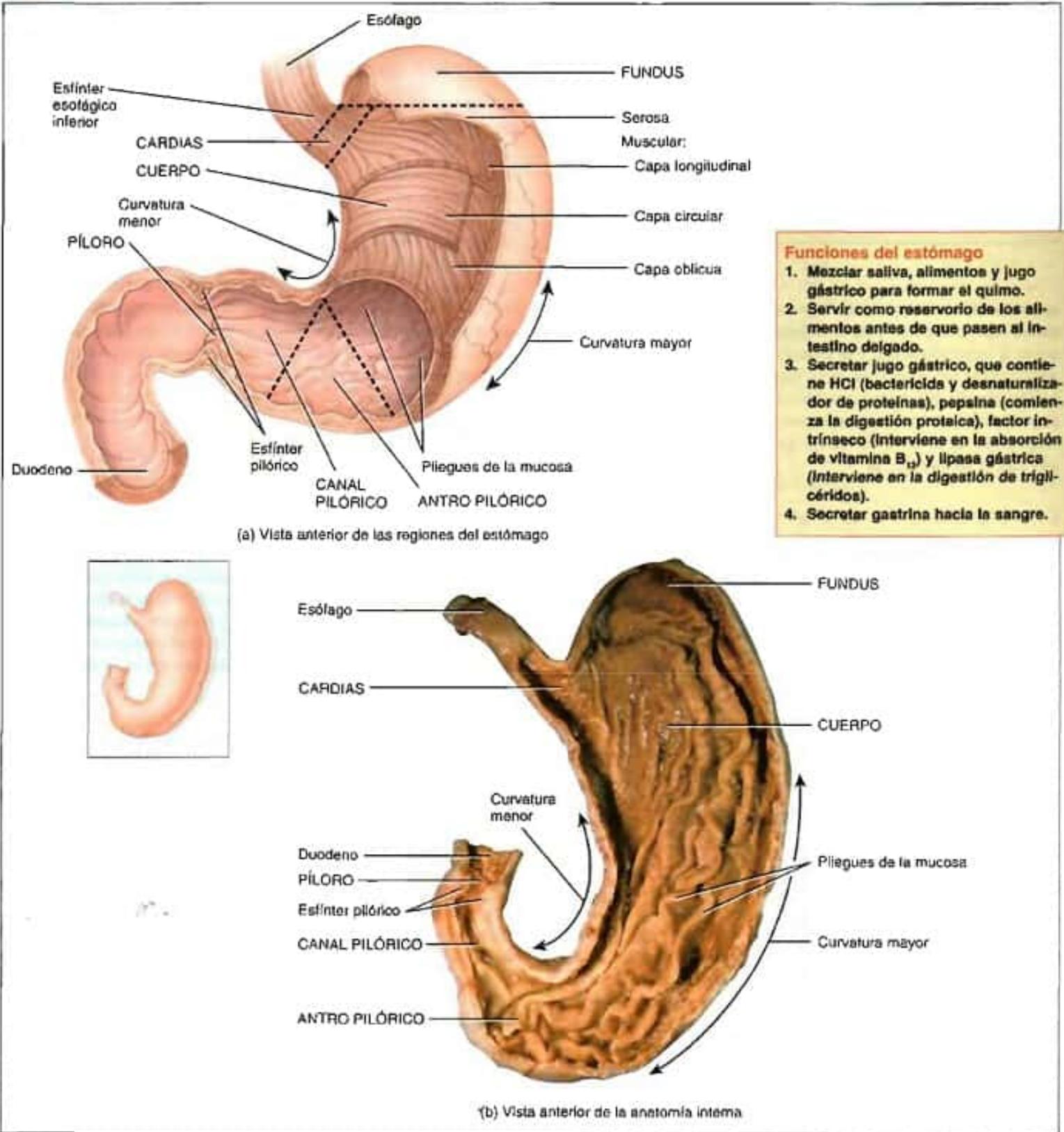
Histología del estómago

La pared del estómago está compuesta por las mismas cuatro capas que el resto del tubo digestivo, con algunas modificaciones. La superficie de la **mucosa** es una capa de células epiteliales cilíndricas simples llamada **células mucosas superficiales** (fig. 24-12b). La mucosa contiene una **lámina propia** (tejido conectivo areolar) y una **muscularis mucosae** (músculo liso) (fig. 24-12b). Las células epiteliales se extienden hacia dentro de la lámina propia, donde forman columnas de células secretoras llamadas **glándulas gástricas**, que limitan con conductos estrechos que reciben el nombre de **criptas gástricas**. Las secreciones de las glándulas gástricas fluyen dentro de las criptas gástricas y de ahí hacia la luz del estómago.

Las glándulas gástricas contienen tres tipos de **células glandulares exocrinas** que secretan sus productos en la luz del estómago: células mucosas del cuello, células principales y células parietales. Las células mucosas superficiales y las **células mucosas del cuello** secretan moco (fig. 24-12b). Las **células parietales** producen factor intrínseco (necesario para la absorción de vitamina B_{12}) y ácido clorhídrico. Las

Fig. 24-11 Anatomía externa e interna del estómago.

Las cuatro regiones del estómago son el cardias, el fundus, el cuerpo y el piloro.



¿Después de una ingesta importante de alimentos el estómago conserva todavía sus pliegues?

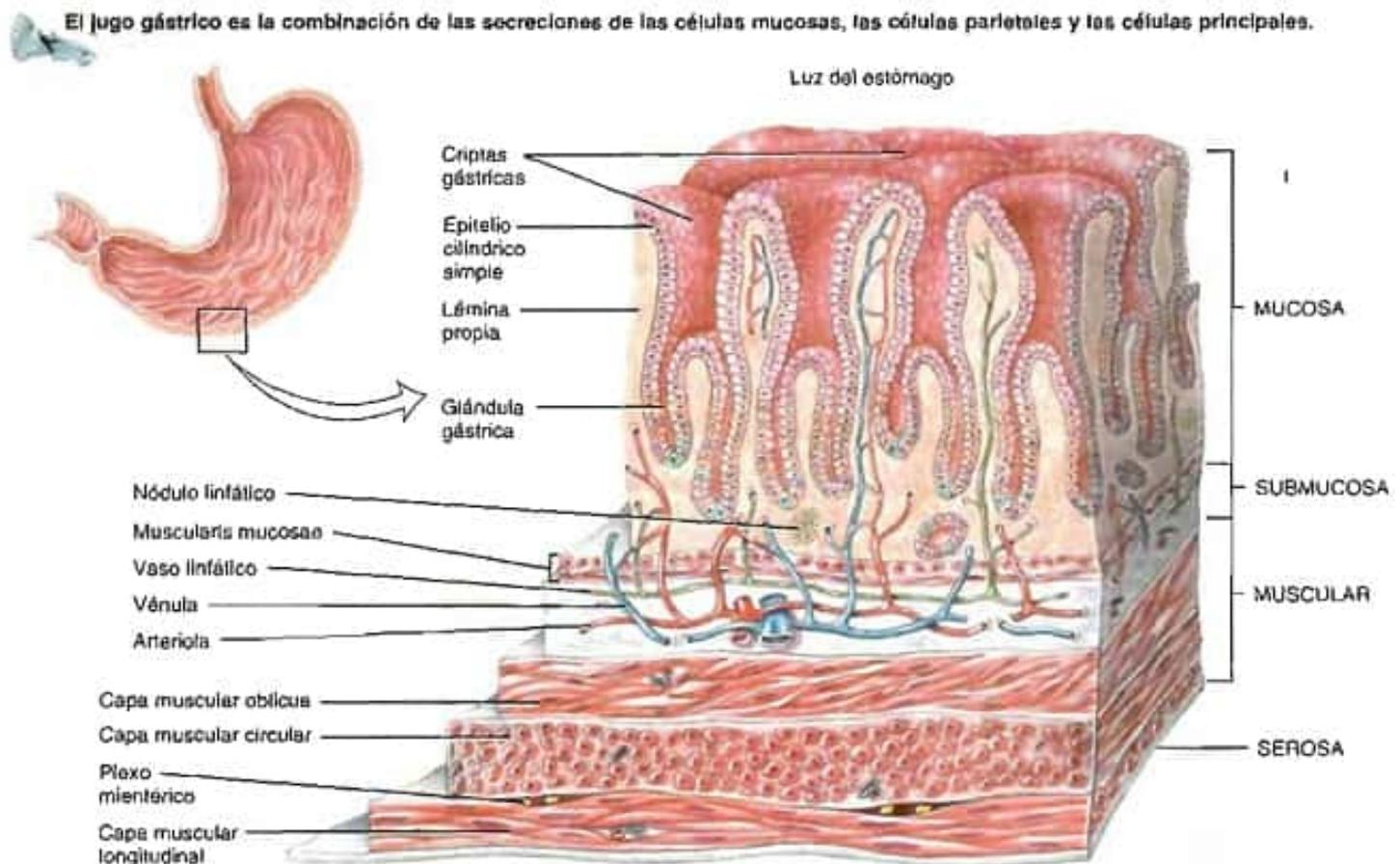
células principales secretan pepsinógeno y lipasa gástrica. Las secreciones de las células mucosas, parietales y principales forman el **jugo gástrico**, que llega a 2 000-3 000 mL por día. Además, dentro de las glándulas gástricas hay un tipo de células endocrinas, las **células G**, que se localizan principalmente en el antrum pilórico y secretan la hormona gastrina en el torrente sanguíneo. Como veremos en breve, esta hormona estimula diversos aspectos de la actividad gástrica.

Tres capas adicionales yacen debajo de la mucosa. La **submucosa** del estómago está compuesta por tejido conectivo areolar. La **muscular** tiene tres capas de músculo liso (en lugar de las dos presentes en el intestino): una capa longitudinal externa, una capa circular media, y una capa oblicua interna. La capa oblicua está limitada casi exclusivamente al cuerpo del estómago. La **serosa** está compuesta por epitelio pavimentoso simple (mesotelio) y por tejido conectivo areolar; la porción de la serosa que cubre al estómago forma parte del peritoneo visceral. En la curvatura menor del estómago, el peritoneo visceral se extiende hacia arriba hasta el hígado como el epiplón (omento) menor. En la curvatura mayor del estómago, el peritoneo visceral continúa hacia abajo como epiplón (omento) mayor formando un delantal que cubre los intestinos.

Digestión mecánica y química en el estómago

Algunos minutos después de que los alimentos entran en el estómago, se producen cada 15 a 25 segundos movimientos peristálticos suaves llamados **ondas de mezcla**. Estas ondas maceran los alimentos, los mezclan con las secreciones de las glándulas gástricas y los reducen a un líquido llamado **quimo** (de *khyμός*, jugo). Pocas ondas de mezcla se observan en el fundus, que principalmente tiene funciones de depósito. Mientras continúa la digestión, ondas de mezcla más vigorosas comienzan en el cuerpo del estómago y se intensifican a medida que llegan al píloro. El esfínter pilórico normalmente se mantiene casi, aunque no del todo, cerrado. Cuando los alimentos llegan al píloro, cada onda expulsa periódicamente 3 mL de quimo hacia el duodeno a través del esfínter pilórico, fenómeno conocido como **vaciamiento gástrico**. La mayor parte del quimo vuelve hacia el cuerpo del estómago, donde las ondas de mezcla continúan. La onda siguiente empuja el quimo nuevamente hacia adelante y fuerza su salida hacia el duodeno. Estos movimientos hacia adelante y hacia atrás del contenido gástrico son los responsables de la mezcla en el estómago.

Fig. 24-12 Histología del estómago.



(e) Vista tridimensional de las capas del estómago

► PREGUNTAS DE REVISIÓN

20. Compare el epitelio del esófago con el del estómago. ¿Cómo se adapta a la función de cada órgano?
21. ¿Cuál es la importancia de los pliegues de las células mucosas superficiales, del cuello, principales, parietales y G del estómago?
22. ¿Cuál es el papel de la pepsina? ¿Por qué se secreta en su forma inactiva?
23. ¿Cuáles son las funciones de la lipasa gástrica y la lipasa lingual en el estómago?

CUADRO 24-3 Resumen de las funciones digestivas en el estómago

Estructura	Actividad	Resultado
Mucosa Células principales	Secretan pepsinógeno	La pepsina, en su forma activada, desdobra las proteínas en péptidos
	Secretan lipasa gástrica	Los triglicéridos se desdoblan en ácidos grasos y monoglicéridos
Células parietales	Secretan ácido clorhídrico	Bactericida de los alimentos; desnaturaliza proteínas; convierte pepsinógeno en pepsina
	Secretan factor intrínseco	Necesario para la absorción de vitamina B ₁₂ , que se usa para la formación de glóbulos rojos (eritropoyesis)
Células mucosas de la superficie y células mucosas del cuello	Secretan moco	Forman una barrera protectora que impide la digestión de la pared gástrica
	Absorción	Una pequeña cantidad de agua, iones, ácidos grasos de cadena corta y algunos fármacos pasan al torrente sanguíneo
Células G	Secretan gastrina	Estimula la secreción de HCl por las células parietales y de pepsinógeno por las células principales; contrae el esfínter esofágico inferior, aumenta la motilidad del estómago y relaja el esfínter pilórico
Muscular	Ondas de mezcla	Disuelven los alimentos y los mezclan con el jugo gástrico formando el quimo
	Peristalsis	Fuerza al quimo a pasar a través del esfínter pilórico
Esfínter pilórico	Se abre para permitir el paso del quimo al duodeno	Regula el paso del quimo desde el estómago hacia el duodeno; impide que el quimo refluya del duodeno al estómago

PÁNCREAS

► OBJETIVO

Describir la localización, anatomía, histología y función del páncreas.

Desde el estómago, el quimo pasa al intestino delgado. Como la digestión química en el intestino delgado depende de la actividad del páncreas, del hígado y de la vesícula biliar, se considerará primero a estos órganos digestivos accesorios y su contribución a la digestión en el intestino delgado.

Anatomía del páncreas

El páncreas (*pan-*, de *pán*, todo, y *-creas*, de *kreíx*, carne), una glándula retroperitoneal que tiene alrededor de 12-15 cm de longitud y 2.5 cm de ancho, se halla por detrás de la curvatura mayor del estómago. Tiene una cabeza, un cuerpo y una cola, y está habitualmente conectado con el duodeno por dos conductos (fig. 24-14a). La cabeza es la porción ensanchada del órgano cercana a la curvatura del duodeno; por encima y a la izquierda de la cabeza se encuentran el cuerpo y la cola de forma ahusada.

El jugo pancreático se secreta en las células exocrinas dentro de conductillos que se unen íntimamente para formar dos largos conductos, el conducto pancreático y el conducto accesorio, que vuelcan las secreciones en el intestino delgado. El conducto pancreático (conducto de Wirsung) es el más grande de los dos. En la mayoría de las personas, se une con el conducto colédoco y entran en el duodeno como un conducto común llamado ampolla hepatopancreática (ampolla de Vater). La ampolla se abre en una elevación de la mucosa duodenal conocida como papila duodenal (carúncula) mayor, a unos 10 cm, por debajo del esfínter pilórico del estómago. El paso de los jugos pancreático y biliar por la ampolla hepatopancreática hacia el intestino delgado está regulado por una masa de músculo liso llamada esfínter de la ampolla hepatopancreática (esfínter de Oddi). El otro conducto del páncreas, el conducto accesorio (conducto de Santorini), sale del páncreas y desemboca en el duodeno a unos 2.5 cm por encima de la ampolla hepatopancreática.

Histología del páncreas

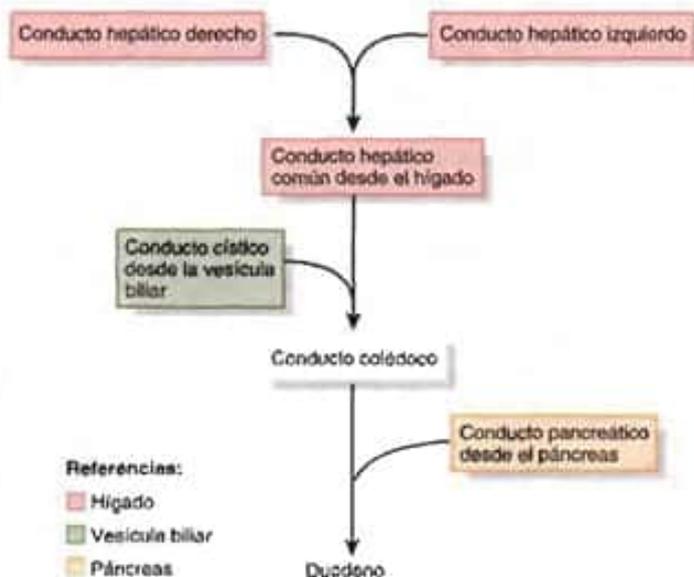
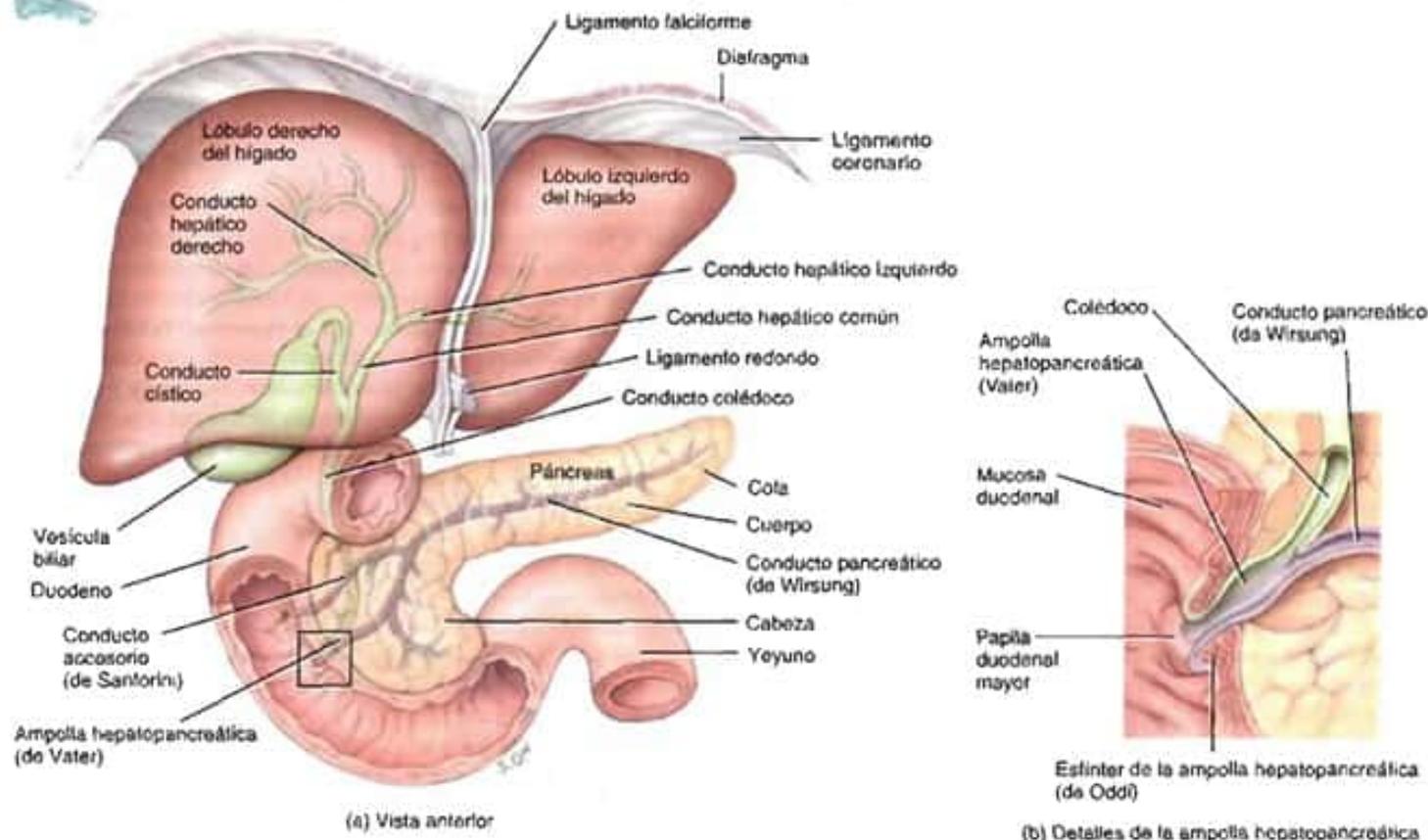
El páncreas está constituido por pequeñas agrupaciones de células epiteliales glandulares. Alrededor del 99% de los micinos, llamados ácinos, constituyen la porción exocrina del órgano (véase fig. 18-18b y c). Las células acinosas secretan una mezcla de líquido y enzimas digestivas llamada jugo pancreático. El 1% restante de los ácinos, los islotes pancreáticos (islotes de Langerhans), forman la porción endocrina del páncreas. Estas células secretan las hormonas glucagón, insulina, somatostatina y el polipéptido pancreático. Las funciones de estas hormonas se describen en el capítulo 18.

Composición y funciones del jugo pancreático

Cada día el páncreas produce entre 1 200 y 1 500 ml, de jugo pancreático, un líquido transparente e incoloro formado en su ma-

Fig. 24-14 Relación del páncreas con el hígado, la vesícula biliar y el duodeno. En el recuadro se muestran en detalle los conductos colédoco y pancreático formando la ampolla hepatopancreática (ampolla de Vater) y vaciándose en el duodeno.

Las enzimas pancreáticas digieren el almidón (polisacáridos), las proteínas, los triglicéridos y los ácidos nucleicos.



Referencias:

- Hígado
- Vesícula biliar
- Páncreas

(c) Conductos que transportan la bils desde el hígado y la vesícula biliar y el jugo pancreático desde el páncreas hacia el duodeno

yor parte por agua, algunas sales: bicarbonato de sodio y varias enzimas. El bicarbonato de sodio le da al jugo pancreático el pH alcalino (7.1-8.2) que amortigua el jugo gástrico ácido del quimo, frena la acción de la pepsina del estómago y crea el pH adecuado para la acción de las enzimas digestivas en el intestino delgado. Las enzimas del jugo pancreático son la **amilasa pancreática**, que digiere el almidón; varias enzimas que digieren proteínas como la **tripsina**, la **quimotripsina**, la **carboxipeptidasa** y la **elastasa**; la principal enzima digestiva de los triglicéridos en los adultos llamada **lipasa pancreática**, y enzimas que digieren a los ácidos nucleicos: la **ribonucleasa** y la **desoxirribonucleasa**.

Las enzimas que atacan a las proteínas son producidas como precursores inactivos, así como la pepsina se produce en el estómago como pepsinógeno. Como están inactivas, no digieren las células del propio páncreas. La tripsina se secreta en su forma inactiva llamada **tripsinógeno**. Las células acinosas pancreáticas también secretan la proteína denominada **inhibidor de la tripsina** que se combina con cualquier tripsina que se haya formado accidentalmente en el páncreas o en el jugo pancreático y bloquea su actividad. Cuando el tripsinógeno llega a la luz del intestino delgado, se

¿Qué tipo de líquido hay en el conducto pancreático? ¿En el conducto colédoco? ¿En la ampolla hepatopancreática?

encuentra con una enzima del borde en cepillo activadora llamada **enterocinasa**, que desdobla parte de la molécula de tripsinógeno para formar tripsina. A su vez, la tripsina actúa sobre los precursores inactivos (quimotripsinógenos, procarboxipeptidasa y proelastasa) para producir quimotripsina, carboxipeptidasa y elastasa, respectivamente.

Pancreatitis y cáncer de páncreas

La inflamación del páncreas, asociada con el alcoholismo o con cálculos biliares crónicos se denomina **pancreatitis**. En un cuadro más grave, la **pancreatitis aguda**, vinculada con la ingesta de alcohol o la obstrucción del tracto biliar, las células pancreáticas pueden liberar tripsina en lugar de tripsinógeno o cantidades insuficientes de *inhibidor de la tripsina* y ésta comienza a digerir las células pancreáticas. Los pacientes con pancreatitis aguda habitualmente responden al tratamiento, pero los ataques recurrentes son la regla. En algunas personas la pancreatitis es idiopática, lo cual significa que se desconoce la causa. Otras causas de pancreatitis son la fibrosis quística, los niveles elevados de calcio (hipercalcemia) o de grasas (hiperlipidemia o hipertrigliceridemia) en la sangre, algunos fármacos y enfermedades autoinmunitarias. No obstante, casi en el 70% de los adultos con pancreatitis la causa es el alcoholismo. A menudo el primer episodio aparece entre los 30 y 40 años.

El **cáncer pancreático** suele afectar a personas de más de 50 años de edad y es más frecuente en los hombres. Típicamente, hay pocos síntomas hasta que la enfermedad llega a una etapa avanzada y con frecuencia no aparecen hasta que haya metástasis en otras partes del cuerpo, como los ganglios linfáticos, el hígado o los pulmones. La enfermedad es casi siempre fatal y es la cuarta causa más común de muerte por cáncer en los Estados Unidos. El cáncer pancreático se asocia a las comidas grasas, alto consumo de alcohol, factores genéticos, tabaquismo y pancreatitis crónica. ■

► PREGUNTAS DE REVISIÓN

24. Describa el sistema de conductos que conecta el páncreas con el duodeno.
25. ¿Qué son los ácinos pancreáticos? ¿Cómo difieren sus funciones de las de las células de los islotes pancreáticos (islotes de Langerhans)?
26. ¿Cuáles son las funciones digestivas de los componentes del jugo pancreático?

HÍGADO Y VESÍCULA BILIAR

► OBJETIVO

Describir la localización, anatomía, histología y funciones del hígado y la vesícula biliar.

El **hígado** es la glándula más voluminosa del cuerpo y pesa alrededor de 1,4 kg en el adulto promedio. De todos los órganos, le sigue sólo a la piel en tamaño. El hígado está por debajo del

diafragma y ocupa la mayor parte del hipocondrio derecho y parte del epigastrio en la cavidad abdominopelviánica (véase **fig. 1-12a**).

La **vesícula biliar** es un saco piriforme localizado en una depresión de la cara inferior del hígado. Tiene una longitud de 7-10 cm y pende habitualmente del borde anteroinferior del hígado (**fig. 24-14a**).

Anatomía del hígado y de la vesícula biliar

El hígado está cubierto casi por completo por el peritoneo visceral y revestido en su totalidad por una capa de tejido conectivo denso irregular que yace en la profundidad del peritoneo. El hígado se divide en dos lóbulos principales—un **lóbulo derecho** grande y un **lóbulo izquierdo** más pequeño—por el **ligamento falciforme**, una hoja del peritoneo (**fig. 24-14a**). Aunque algunos anatomistas consideran que el lóbulo derecho abarca al **lóbulo cuadrado** y al **lóbulo caudado**, sobre la base de la morfología interna (en especial la distribución de los vasos sanguíneos), los lóbulos cuadrado y caudado pertenecen al lóbulo izquierdo. El ligamento falciforme se extiende desde la cara inferior del diafragma entre los dos lóbulos principales hasta la cara superior del hígado y contribuye a sostenerlo en la cavidad abdominal. En el borde libre del ligamento falciforme está el **ligamento redondo**, un vestigio de la vena umbilical del feto (véase **fig. 21-30a y b**); este cordón fibroso se extiende desde el hígado hasta el ombligo. Las porciones derecha e izquierda del **ligamento coronario** son estrechas extensiones del peritoneo parietal que van del hígado al diafragma.

En la vesícula biliar se distingue un **fondo**, con proyecciones hacia abajo desde el borde inferior del hígado; el **cuerpo**, la porción central, y el **cuello**, la porción estrecha. El cuerpo y el cuello se proyectan hacia arriba.

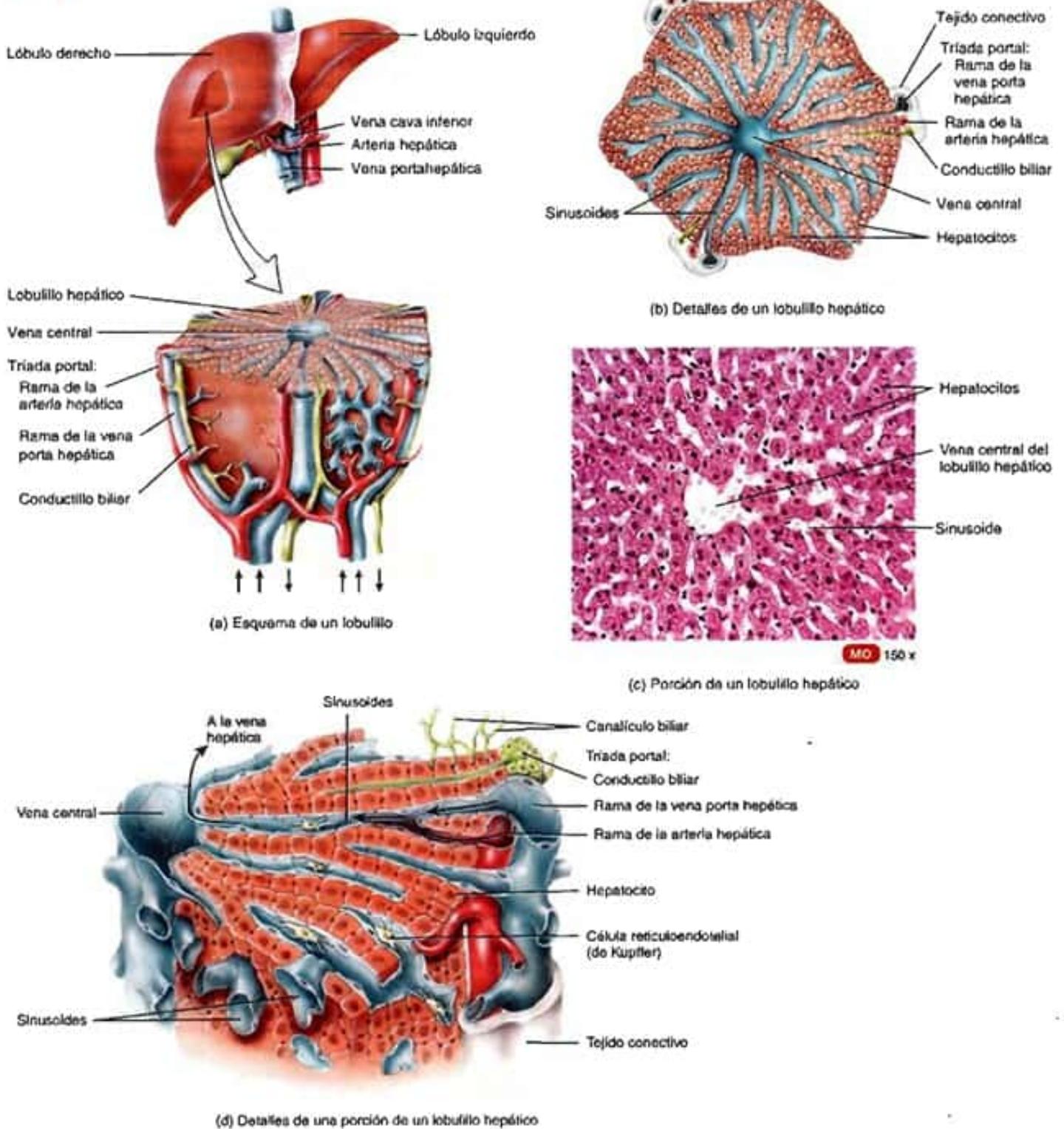
Histología del hígado y de la vesícula biliar

Los lóbulos del hígado están formados por muchas unidades funcionales llamadas **lobulillos** (**fig. 24-15**). Un lobulillo tiene una estructura de seis lados (hexágono) constituida por células epiteliales especializadas, llamadas **hepatocitos** (hepato-, de *hépatos*, hígado, y -cito, de *kytos*, cavidad), organizado en láminas irregulares, ramificadas e interconectadas que rodean a una **vena central**. Además, el lobulillo hepático contiene capilares muy permeables llamados **sinusoides**, a través de los cuales circula sangre. En los sinusoides también están presentes las **células reticuloendoteliales** (de **Kupffer**), fagocitos que destruyen a los eritrocitos y glóbulos blancos viejos, bacterias y otros cuerpos extraños del torrente venoso provenientes del tracto gastrointestinal.

La bilis, que se secreta en los hepatocitos, entra en los **canales biliares**, estrechos conductos intercelulares que desembocan en **conductillos biliares** (**fig. 24-15a**), desde los cuales pasa a los **conductos biliares** en la periferia de los lobulillos. Los conductos biliares emergen y forman por último los **conductos hepáticos derecho e izquierdo**, que se unen y abandonan el hígado como **conducto hepático común** (véase **fig. 24-14**). El conducto hepático común se une al **conducto cístico** (de *kyttis*, vejiga) de la vesícula biliar para formar el **conducto colédoco**.

Fig. 24-15 Histología de un lobulillo, la unidad funcional del hígado.

Un lobulillo consiste en un grupo de hepatocitos dispuestos alrededor de una vena central.



¿Qué tipo de célula del hígado es fagocítica?

menta. Entre las comidas, después de que se absorbió la mayor parte, la bilis fluye hacia la vesícula biliar para almacenarse, porque el esfínter de la ampolla hepatopancreática (esfínter de Oddi; véase fig. 24-14) obtura la entrada al duodeno.



Cálculos biliares

Si la bilis tiene un contenido insuficiente de sales biliares o un exceso de colesteryl, éste puede cristalizarse y formar cálculos biliares. A medida que crecen en tamaño y número, los cálculos pueden ocasionar una obstrucción mínima, intermitente o completa del flujo de la bilis de la vesícula al duodeno. El tratamiento consiste en usar fármacos que disuelvan los cálculos, la litotricia con ondas de choque o la cirugía. La *colecistectomía*—extirpación de la vesícula biliar y su contenido— es necesaria en aquellas personas con cálculos recurrentes o en quienes el tratamiento farmacológico o la litotricia están contraindicados. Más de 500 000 colecistectomías se realizan anualmente en los Estados Unidos. ■

Funciones del hígado

Además de secretar bilis, necesaria para la absorción de los alimentos grasos, el hígado cumple otras funciones vitales:

- **Metabolismo de los hidratos de carbono.** El hígado es especialmente importante para mantener los niveles normales de glucosa en sangre. Cuando la glucemia es baja, el hígado puede desdoblar el glucógeno en glucosa y liberarla en el torrente sanguíneo. El hígado puede también convertir ciertos aminoácidos y ácido láctico en glucosa y puede convertir otros azúcares, como la fructosa y la galactosa, en glucosa. Cuando la glucemia es elevada, como ocurre después de comer, el hígado convierte la glucosa en glucógeno y triglicéridos para almacenarlos.
- **Metabolismo de los lípidos.** Los hepatocitos almacenan algunos triglicéridos; degradan ácidos grasos para generar ATP; sintetizan lipoproteínas, que transportan ácidos grasos, triglicéridos y colesterol hacia las células del organismo y desde éstas; sintetizan colesterol, y usan el colesterol para formar sales biliares.
- **Metabolismo proteico.** Los hepatocitos *desaminan* (eliminan el grupo amino, NH_2) de los aminoácidos de manera que pueden utilizarse en la producción de ATP o convertidos en hidratos de carbono o grasas. El amoníaco (NH_3) tóxico resultante se convierte luego en un compuesto menos tóxico, la urea, que se excreta con la orina. Los hepatocitos también sintetizan la mayoría de las proteínas plasmáticas, como la alfa y beta globulinas, la albúmina, la protrombina y el fibrinógeno.
- **Procesamiento de fármacos y hormonas.** El hígado puede detoxificar sustancias como el alcohol y excretar fármacos como la penicilina, eritromicina y sulfonamidas en la bilis. Puede también alterar químicamente o excretar hormonas tiroideas y hormonas esteroideas, como los estrógenos y la aldosterona.
- **Excreción de bilirrubina.** Como se mencionó, la bilirrubina, que deriva del hemo de los eritrocitos viejos, es captada por el hígado desde la sangre y se secreta con la bilis. La mayor parte

de la bilis se metaboliza en el intestino delgado por las bacterias y eliminada junto con las heces.

- **Síntesis de sales biliares.** Las sales biliares se usan en el intestino delgado para emulsionar y absorber los lípidos.
- **Almacenamiento.** Además del glucógeno, el hígado es el sitio primario de almacenamiento de algunas vitaminas (A, B_{12} , D, E y K) y minerales (hierro y cobre), que se liberan del hígado cuando se requieren en alguna parte del cuerpo.
- **Fagocitosis.** Las células reticuloendoteliales estrelladas (Kupfer) del hígado fagocitan los glóbulos blancos, los glóbulos rojos envejecidos algunas bacterias.
- **Activación de la vitamina D.** La piel, el hígado y los riñones participan en la síntesis de la forma activa de la vitamina D.

Las funciones del hígado relacionadas con el metabolismo se exponen con mayor detalle en el capítulo 25.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

27. Dibuje un diagrama de un lobulillo hepático y mencione sus componentes.
28. Describa el recorrido del flujo sanguíneo hacia el hígado, en su interior y desde este órgano.
29. ¿Cómo se conectan la vesícula biliar y el hígado con el duodeno?
30. Una vez formada la bilis en el hígado, ¿cómo se transporta hasta la vesícula biliar para su almacenamiento?
31. ¿Cuál es la función de la bilis?

INTESTINO DELGADO

OBJETIVO

Describir la localización, anatomía, histología y funciones del intestino delgado.

Los procesos más importantes de la digestión y la absorción de los nutrientes se producen en un órgano tubular largo, el **intestino delgado**, como consecuencia de lo cual su estructura se encuentra especialmente adaptada para estas funciones. Sólo su longitud ya provee una enorme superficie para la digestión y la absorción y esa superficie se incrementa aún más por la presencia de pliegues circulares, vellosidades y microvellosidades. El intestino delgado comienza en el esfínter pilórico del estómago, se pliega a través de la parte central e inferior de la cavidad abdominal y se abre por último en el intestino grueso. Alcanza un promedio los 2,5 m de diámetro; su longitud es de alrededor de 3 metros en una persona viva y de unos 6,5 m en un cadáver a causa de la pérdida del tono muscular liso después de la muerte.

Anatomía del intestino delgado

El intestino delgado se divide en tres regiones (fig. 24-17). El **duodeno**, el segmento más corto, es retroperitoneal. Comienza en

el esfínter pilórico del estómago y se extiende alrededor de 25 cm hasta que comienza el yeyuno. *Duodeno* significa "12"; porque su extensión equivale a 12 traveses de dedo. El *yeyuno* mide alrededor de 1 metro y se extiende hasta el íleon. *Yeyuno* significa "vacío", que es como se lo encuentra después de la muerte. La región final y más larga del intestino delgado, el *íleon*, mide alrededor de 2 metros y se une con el intestino largo mediante el esfínter o válvula ileocecal.

Histología del intestino delgado

La pared del intestino delgado está compuesta por las cuatro capas que forman la mayor parte del tubo digestivo: mucosa, submucosa, muscular y serosa (fig. 24-18a). La mucosa está compuesta por el epitelio, la lámina propia y la muscularis mucosae. La capa epitelial de la mucosa intestinal consiste en epitelio cilíndrico simple que contiene varios tipos de células (fig. 24-18b). Las **células absorptivas** digieren y absorben nutrientes del quimo intestinal. También están presentes las **células caliciformes**, que secretan moco. La mucosa del intestino delgado contiene varias hendiduras revestidas de epitelio glandular. Las células que las tapizan forman las **glándulas intestinales (criptas de Lieberkühn)** y secretan jugo intestinal (que se describe más adelante). Junto a las células ab-

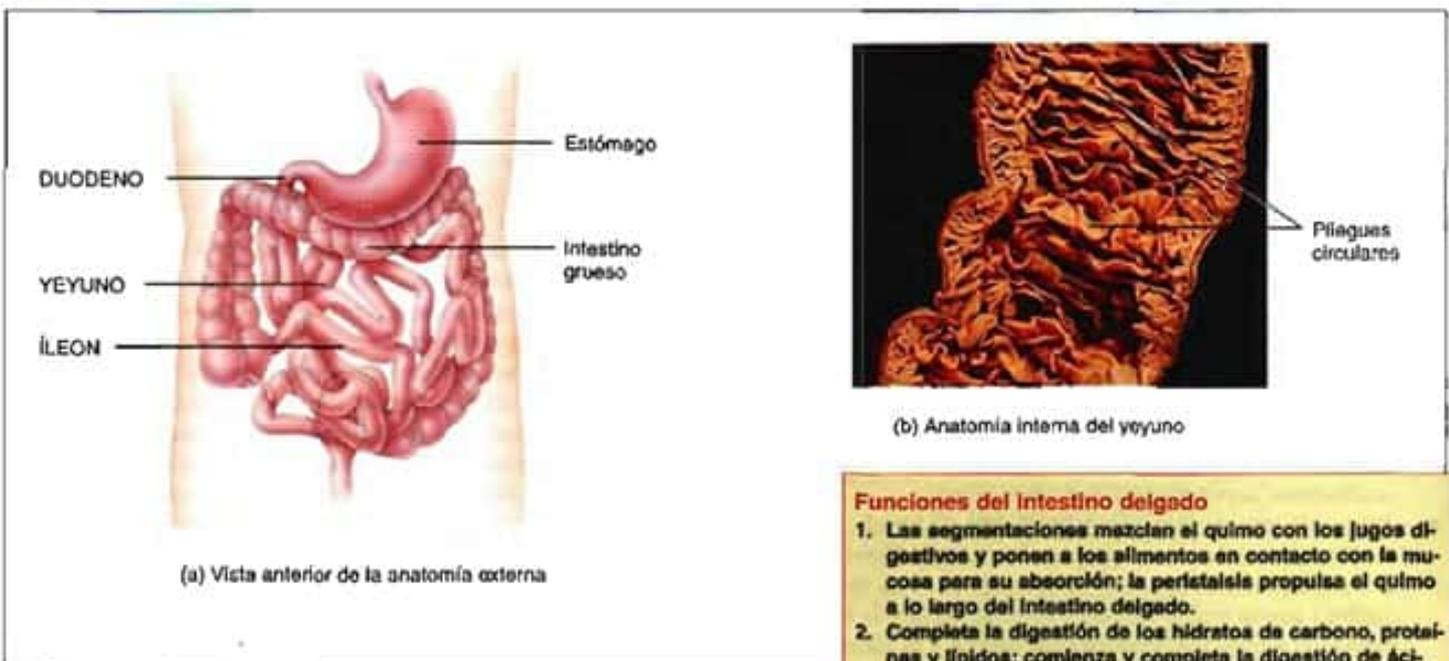
sortivas y a las células caliciformes, las glándulas intestinales también contienen células de Paneth y células enteroendocrinas. Las **células de Paneth** secretan lisozima, una enzima bactericida, y tienen capacidad fagocítica. Por lo que desempeña un papel importante en la regulación de la población bacteriana en el intestino delgado. Existen tres tipos de células enteroendocrinas en las glándulas intestinales del intestino delgado: **células S**, **células CCK** y **células K**, que secretan la hormona secretina, la colecistocinina o CCK y el **péptido insulínotropico dependiente de glucosa** o GIP, respectivamente.

La lámina propia de la mucosa del intestino delgado contiene tejido conectivo arcolar y tiene abundante tejido linfóide asociado a la mucosa (MALT). Los **ganglios linfáticos solitarios** son más numerosos en la porción distal del íleon (fig. 24-19c). Hay grupos de ganglios linfáticos conocidos como **folículos linfáticos agregados (placas de Peyer)** presentes en el íleon. La muscularis mucosae de la mucosa del intestino delgado contiene músculo liso.

La submucosa del duodeno presenta **glándulas duodenales (de Brunner)** (véase fig. 24-19a), las cuales secretan un moco alcalino que ayuda a neutralizar el ácido gástrico del quimo. A veces el tejido linfático de la lámina propia se extiende por la muscularis mucosae hasta la mucosa. La muscular del intestino delgado consiste en dos capas de músculo liso. La externa, más gruesa, contiene fi-

Fig. 24-17 Anatomía del intestino delgado. (a) Las regiones del intestino delgado son el duodeno, el yeyuno, y el íleon. (b) Los pliegues circulares aumentan la superficie dedicada a la digestión y la absorción en el intestino delgado.

 La mayor parte de la digestión y la absorción tienen lugar en el intestino delgado.



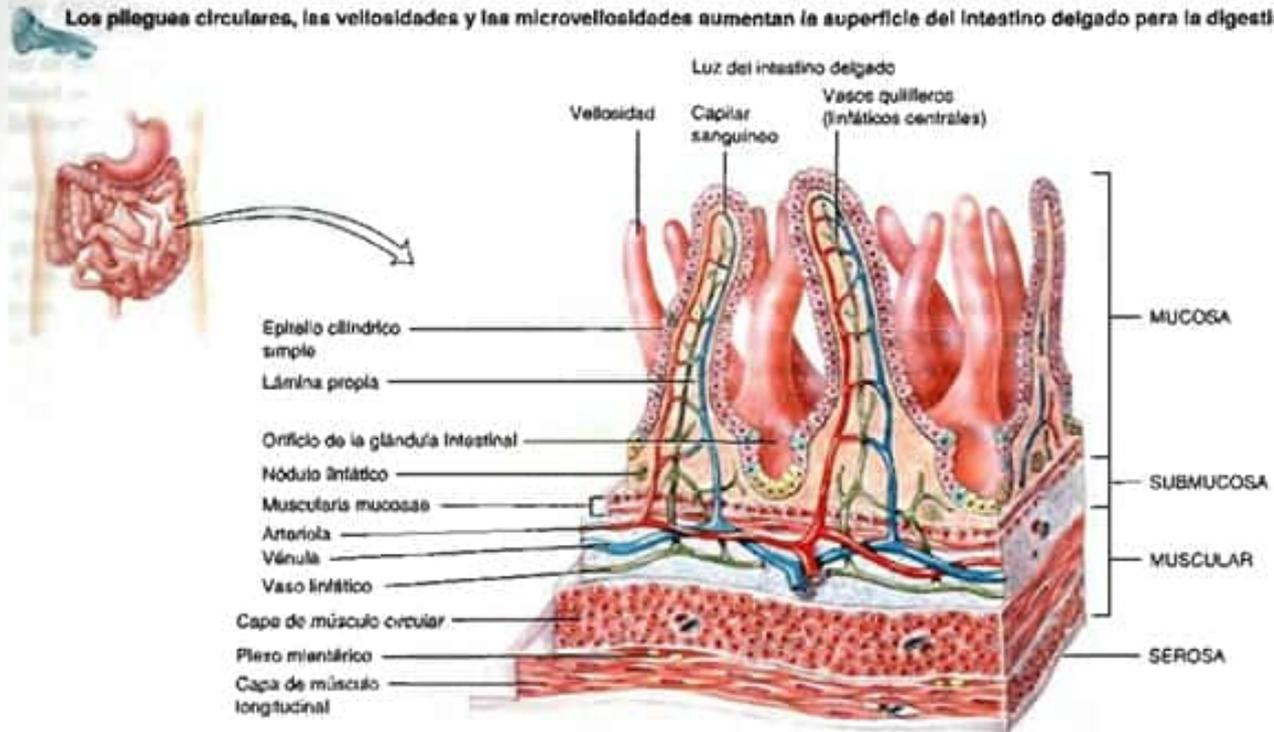
Funciones del intestino delgado

1. Las segmentaciones mezclan el quimo con los jugos digestivos y ponen a los alimentos en contacto con la mucosa para su absorción; la peristalsis propulsa el quimo a lo largo del intestino delgado.
2. Completa la digestión de los hidratos de carbono, proteínas y lípidos; comienza y completa la digestión de ácidos nucleicos.
3. Absorbe un 90% de los nutrientes y del agua que pasa a través del aparato digestivo.

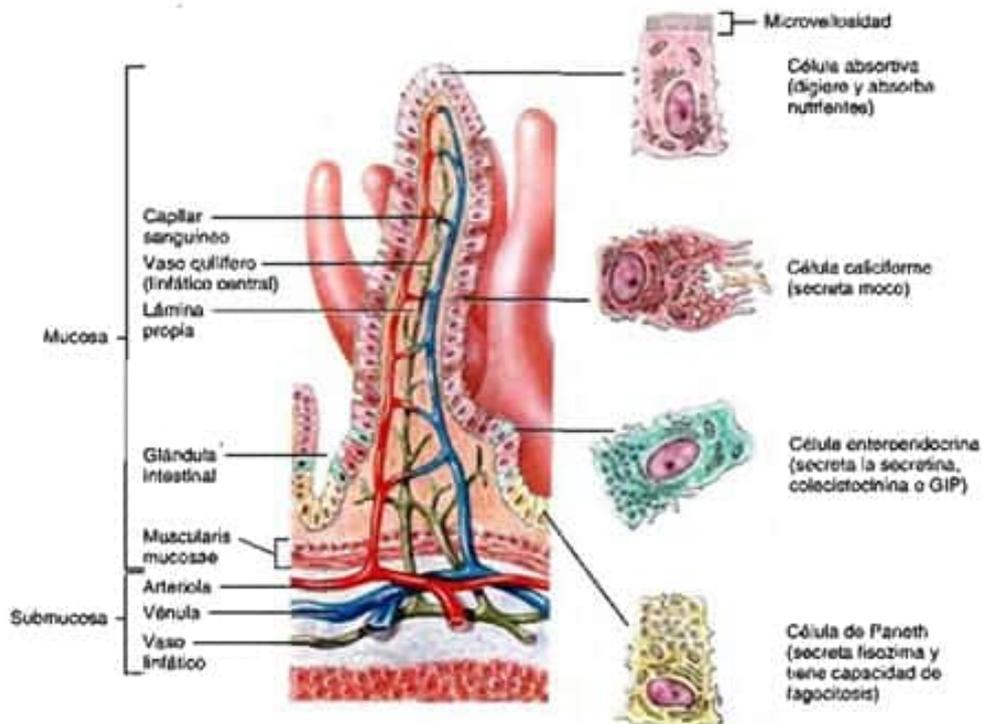
 ¿Cuál es la porción más larga del intestino delgado?

Fig. 24-18 Histología del Intestino delgado.

Los pliegues circulares, las vellosidades y las microvellosidades aumentan la superficie del intestino delgado para la digestión y la absorción.



(a) Vista tridimensional de las tunicas del intestino delgado que muestra las vellosidades



(b) Vista aumentada de una vellosidad que muestra los quilíferos, capilares, glándulas intestinales y tipos celulares

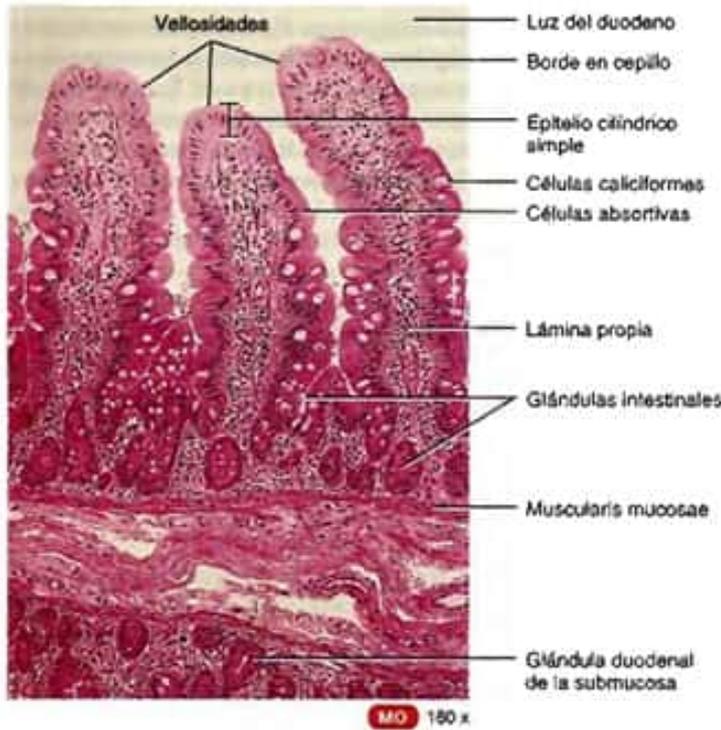


¿Cuál es la importancia funcional de la red de capilares sanguíneos y quilíferos del centro de cada vellosidad?

Papel del jugo intestinal y las enzimas del borde en cepillo

Alrededor de 1-2 litros de **jugo intestinal**, un líquido amarillento, se secreta cada día. El jugo intestinal contiene agua y moco y es ligeramente alcalino (pH 7,6). En conjunto, los jugos pancreáticos e

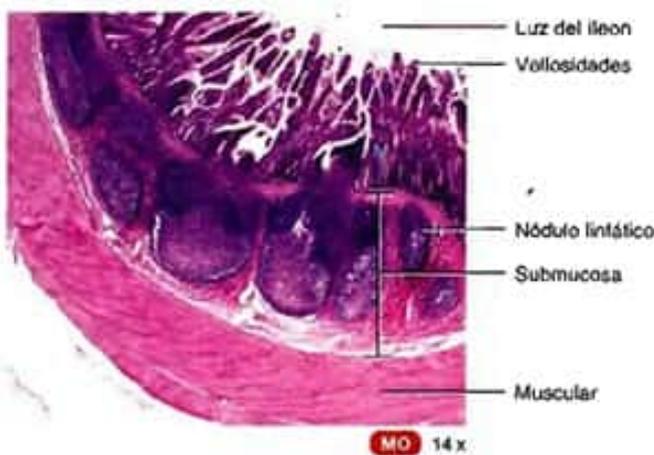
intestinal proveen un medio líquido que colabora con la absorción de las sustancias del quimo en el intestino delgado. Las células absorbivas del intestino delgado sintetizan diversas enzimas digestivas, llamadas **enzimas del borde o ribete en cepillo**, y se insertan en la membrana plasmática de las microvellosidades. De tal modo, una parte de la digestión enzimática se produce sobre la superficie de las células absorbivas que limitan la vellosidad, más que en la luz exclusivamente, como ocurre en otras partes del tracto GI. Entre las enzimas del borde en cepillo se encuentran cuatro enzimas encargadas de la digestión de hidratos de carbono, llamadas α -dextrinasa, maltasa, sacarasa y lactasa; otras encargadas de la digestión de proteínas llamadas peptidasas (aminopeptidasa y dipeptidasa), y dos tipos de enzimas encargadas de la digestión de ácidos nucleicos, nucleosidasas y fosfatasas. Además, a medida que las células absorbivas se descaman en la luz del intestino delgado, se rompen y liberan enzimas que contribuyen a la digestión de los nutrientes del quimo.



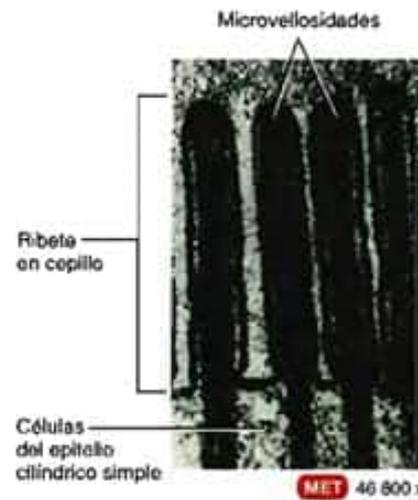
(b) Tres vellosidades del duodeno

Digestión mecánica en el intestino delgado

Los dos tipos de movimiento del intestino delgado —segmentación y un tipo de peristalsis, el complejo motor migrante— están regulados principalmente por el plexo mientérico. Las **segmentaciones** consisten en contracciones localizadas de mezcla que tienen lugar en las porciones del intestino distendidas por el gran volumen del quimo. La segmentación mezcla el quimo con los jugos intestinales y pone las partículas de alimento en contacto con la mucosa para su absorción posterior; no impulsa el contenido intestinal a lo largo del tubo digestivo. La segmentación comienza con la contracción de las fibras musculares circulares de una porción del intestino delgado, acción que constriñe al intestino en segmentos. Luego se contraen las fibras musculares que rodean el punto medio de ca-



(c) Nódulos linfáticos del ileon



(d) Microvellosidades del duodeno

¿Cuál es la función del líquido secretado por las glándulas duodenales (de Brunner)?

da segmento y lo dividen nuevamente. Por último, las fibras que se contrajeron primero se relajan, y cada pequeño segmento se une con el siguiente formando nuevamente segmentos largos. A medida que se repite esta secuencia, el quimo se desplaza hacia adelante y hacia atrás. La segmentación es más rápida en el duodeno, alrededor de 12 veces por minuto y disminuye progresivamente a alrededor de 8 veces por minuto en el ileon. Este movimiento es similar a la compresión alternativa de la parte media y los extremos de un tubo de pasta dental tapada.

Después de la absorción de la mayor parte de los alimentos, lo cual reduce la distensión de la pared del intestino delgado, la segmentación cesa y comienza la peristalsis. El tipo de peristalsis que ocurre en el intestino delgado, denominado **complejo motor migrante (CMM)**, comienza en la porción inferior del estómago y lleva al quimo hacia adelante a lo largo del corto tramo de intestino delgado hasta su expulsión. El CMM migra lentamente por el intestino delgado y llega al final del ileon luego de 90-120 minutos. Otro CMM comienza en el estómago a continuación. En conjunto, el quimo permanece en el intestino delgado entre 3 y 5 horas.

Digestión química en el intestino delgado

En la boca, la amilasa salival convierte el almidón (un polisacárido) en maltosa (un disacárido), maltotriosa (un trisacárido) y α -dextrinas (una cadena corta de fragmentos ramificados de almidón con 5 a 10 unidades de glucosa). En el estómago, la pepsina convierte a las proteínas en péptidos (pequeños fragmentos de proteínas) y las lipasas lingual y gástrica convierten a los triglicéridos en ácidos grasos, diglicéridos y monoglicéridos. De esta manera, el quimo que entra en el intestino delgado contiene hidratos de carbono, proteínas y lípidos parcialmente digeridos. La digestión completa de hidratos de carbono, proteínas y lípidos es el resultado conjunto del jugo pancreático, biliar e intestinal en el intestino delgado.

Digestión de los hidratos de carbono

A pesar de que la acción de la **amilasa salival** puede continuar en el estómago durante cierto tiempo, el pH ácido del estómago destruye a la amilasa salival y hace cesar su actividad. Por lo tanto poco almidón ha sido degradado en el momento en que el quimo abandona el estómago. El almidón que no se degradó todavía en maltosa, maltotriosa y α -dextrina se hidroliza por acción de la **amilasa pancreática**, una enzima del jugo pancreático que actúa en el intestino delgado. A pesar de que la amilasa pancreática actúa sobre el glucógeno y el almidón, no tiene efecto sobre otro polisacárido, la celulosa, un producto vegetal indigerible a la que habitualmente nos referimos como "fibra" cuando pasa a lo largo del tubo digestivo. Una vez que la amilasa (salival o pancreática) dividió al almidón en pequeños fragmentos, una enzima del borde en cepillo llamada **α -dextrinasa** actúa sobre las α -dextrinas resultantes y separa una unidad de glucosa por vez.

Las moléculas de sacarosa, lactosa y maltosa ingeridas —tres disacáridos— no se degradan hasta llegar al intestino delgado. Tres enzimas del ribete en cepillo digieren a estos disacáridos en monosacáridos. La **sacarasa** desdobla la sacarosa en una molécula de glucosa y una de fructosa; la **lactasa** digiere la lactosa en una mo-

lécula de glucosa y una de galactosa; y la **maltasa** degrada la maltosa y la maltotriosa en dos o tres moléculas de glucosa, respectivamente. La digestión de los hidratos de carbono termina con la producción de monosacáridos, que el sistema digestivo puede absorber.



Intolerancia a la lactosa

En algunas personas las células mucosas del intestino delgado no producen suficiente lactasa, que, como se expresó, es esencial para la digestión de lactosa. Esto determina la llamada **intolerancia a la lactosa**, en la cual la lactosa no digerida del quimo causa la retención de líquido en las heces; la fermentación bacteriana de la lactosa no digerida lleva a la producción de gases. Los síntomas de la intolerancia a la lactosa consisten en diarrea, gases, meteorismo y cólicos intestinales después de ingerir leche u otros productos lácteos. Los síntomas pueden ser menores o lo suficientemente graves como para requerir atención médica. La prueba del **hidrógeno espirado** se usa a menudo para el diagnóstico de la intolerancia a la lactosa. Muy poco hidrógeno se detecta en la espiración de una persona normal, pero éste es uno de los gases que se forman cuando la lactosa no digerida se fermenta por acción de las bacterias. El hidrógeno se absorbe en el intestino y se transporta por la sangre hasta los pulmones, donde se exhala. Las personas con intolerancia a la lactosa pueden tomar suplementos dietéticos para facilitar la digestión de la lactosa. ■

Digestión de proteínas

Recordamos que la digestión de las proteínas comienza en el estómago, donde se desdoblán en péptidos por la acción de la **pepsina**. Las enzimas del jugo pancreático —**tripsina**, **quimotripsina**, **carboxipeptidasa** y **elastasa**— continúan la degradación de las proteínas en péptidos. Si bien todas esas enzimas convierten a la mayoría de las proteínas en péptidos, sus acciones difieren ligeramente en cuanto a la ruptura de las uniones peptídicas entre los distintos aminoácidos. La tripsina, la quimotripsina y la elastasa rompen la cadena peptídica entre un aminoácido y el siguiente: la carboxipeptidasa separa al aminoácido en el extremo carboxilo del péptido. La digestión proteica se completa por la acción de dos **peptidasas** del borde en cepillo: la **aminopeptidasa** y la **dipeptidasa**. La **aminopeptidasa** actúa sobre el aminoácido en el extremo amino del péptido. La **dipeptidasa** actúa sobre los dipéptidos (dos aminoácidos unidos por un enlace peptídico) y los convierte en aminoácidos simples.

Digestión de los lípidos

Los lípidos más abundantes de la dieta son triglicéridos, constituidos por una molécula de glicerol unida a tres moléculas de ácidos grasos (véase **fig. 2-17**). Las enzimas que degradan triglicéridos y fosfolípidos se llaman **lipasas**. Hay tres tipos de lipasas que pueden participar en la digestión de los lípidos: la **lipasa lingual**, la **lipasa gástrica** y la **lipasa pancreática**. Si bien una parte de la digestión lipídica tiene lugar en el estómago por la acción de las lipasas lingual y gástrica, la mayor parte se produce especialmente en el intestino delgado por la acción de la lipasa pancreática. La lipasa pan-

creática degrada a los triglicéridos en ácidos grasos y monoglicéridos. Los ácidos grasos liberados pueden ser ácidos grasos de cadena corta (con menos de 10 a 12 carbonos) o ácidos grasos de cadena larga.

Antes de que un gran glóbulo lipídico y que contiene triglicéridos pueda ser digerido el intestino delgado debe experimentar primero la **emulsificación**, proceso en el cual el glóbulo lipídico grande se fracciona en muchos glóbulos lipídicos pequeños. Recuérdese que la bilis contiene sales biliares y sales de sodio y de potasio de los ácidos biliares (principalmente ácido quenodesoxicólico y ácido cólico). Las sales biliares son **anfipáticas**, lo cual significa que cada sal biliar tiene una región hidrófoba (no polar) y una región hidrófila (polar). La naturaleza anfipática de las sales biliares les permite emulsionar a un glóbulo lipídico grande; las regiones hidrófobas de las sales biliares interactúan con el glóbulo lipídico grande, mientras que las regiones hidrófilas de las sales biliares interactúan con el contenido acuoso intestinal. De tal

manera, el glóbulo lipídico grande se divide en muchos glóbulos lipídicos pequeños, de alrededor de 1 µm de diámetro. Los glóbulos lipídicos pequeños formados en el proceso de emulsificación representan una enorme superficie que le permite a la lipasa pancreática realizar su función más efectivamente.

Digestión de los ácidos nucleicos

El jugo pancreático contiene dos nucleasas: la **ribonucleasa**, que digiere el ARN, y la **desoxirribonucleasa**, que digiere el ADN. Los nucleótidos resultantes de la acción de estas dos nucleasas son luego digeridos por las enzimas **nucleotidasas** y **fosfatasas** del ribete en cepillo en pentosas, fosfatos y bases nitrogenadas. Estos productos son absorbidos por transporte activo.

El **cuadro 24-4** resume las fuentes, sustratos y productos de las enzimas digestivas.

CUADRO 24-4 Resumen de las enzimas digestivas

Enzima	Origen	Sustratos	Productos
Saliva			
Amlasa salival	Glándulas salivales	Almidón (polisacáridos)	Maltosa (disacárido), maltotriosa (trisacárido) y α-dextrinas
Lipasa lingual	Glándulas linguales	Triglicéridos (grasas y aceites) y otros lípidos	Ácidos grasos y diglicéridos
Jugo gástrico			
Pepsina (activada a partir del pepsinógeno por el ácido clorhídrico)	Células principales	Proteínas	Péptidos
Lipasa gástrica	Células principales	Triglicéridos (grasas y aceites)	Ácidos grasos y monoglicéridos
Jugo pancreático			
Amlasa pancreática	Células acinosas	Almidón (polisacáridos)	Maltosa (disacárido), maltotriosa (trisacárido) y α-dextrinas
Tripsina (activada a partir del tripsinógeno por la enterocinasa)	Células acinosas	Proteínas	Péptidos
Quimotripsina (activada a partir del quimotripsinógeno por la tripsina)	Células acinosas	Proteínas	Péptidos
Elastasa (activada a partir de la proelastasa por la tripsina)	Células acinosas	Proteínas	Péptidos
Carboxipeptidasa (activada a partir de la procarboxipeptidasa por la tripsina)	Células acinosas	Aminoácidos del extremo carboxilo de los péptidos	Aminoácidos y péptidos
Lipasa pancreática	Células acinosas	Triglicéridos (grasas y aceites) emulsionados por las sales biliares	Ácidos grasos y monoglicéridos
Nucleasas			
Ribonucleasa	Células acinosas	Ácido ribonucleico	Nucleótidos
Desoxirribonucleasa	Células acinosas	Ácido desoxirribonucleico	Nucleótidos
Ribete en cepillo			
α-Dextrinasa	Intestino delgado	α-Dextrinas	Glucosa
Maltasa	Intestino delgado	Maltosa	Glucosa
Sacarasa	Intestino delgado	Sacarosa	Glucosa y fructosa
Lactasa	Intestino delgado	Lactosa	Glucosa y galactosa
Enterocinasa	Intestino delgado	Tripsinógeno	Tripsina
Peptidasas			
Aminopeptidasa	Intestino delgado	Aminoácidos del extremo amino de los péptidos	Aminoácidos y péptidos
Dipeptidasa	Intestino delgado	Dipéptidos	Aminoácidos
Nucleotidasas y fosfatasas	Intestino delgado	Nucleótidos	Bases nitrogenadas, pentosas y fosfatos

el equilibrio osmótico con la sangre. Los electrolitos, monosacáridos y aminoácidos absorbidos establecen un gradiente de concentración para el agua que promueve su absorción por ósmosis.

En el **cuadro 24-5** se resumen las actividades del páncreas, el hígado, la vesícula biliar y el intestino delgado.



Absorción del alcohol

La intoxicación y los efectos incapacitantes del alcohol dependen de sus niveles en sangre. Como es liposoluble, el alcohol comienza a absorberse en el estómago. Sin embargo, la superficie disponible para la absorción es mucho más grande en el intestino delgado, de manera

que cuando el alcohol pasa hacia el duodeno, se absorbe más rápidamente. De esta manera, cuanto más tiempo permanezca el alcohol en el estómago, más lentamente aumentarán los niveles de alcohol en sangre. Como los ácidos grasos del quimo retardan el vaciamiento gástrico, los niveles de alcoholemia se elevarán más lentamente cuando se consumen alimentos con alto contenido de grasas, como pizza, hamburguesas o nachos junto con bebidas alcohólicas. Además, la enzima alcohol deshidrogenasa, presente en las células mucosas gástricas, degrada una parte del alcohol a acetaldehído, que no es tóxico. Cuando la velocidad del vaciamiento gástrico está enlentecida más alcohol se absorberá y convertirá en acetaldehído proporcionalmente en el estómago, y de esta manera llegará menos alcohol al torrente sanguíneo. Para el mismo consumo de alcohol, las mujeres experimentan a menudo concentraciones de alcohol en sangre superior (y por lo tanto, experimentan una mayor intoxicación) que los hombres del mismo tamaño porque en las mujeres la enzima gástrica alcohol deshidrogenasa tiene niveles de hasta 60% menores que en los hombres. Los varones asiáticos también pueden tener niveles inferiores de esta enzima gástrica. ■

CUADRO 24-5 Resumen de las actividades digestivas en el páncreas, el hígado, la vesícula biliar y el intestino delgado

Estructura	Actividad
Páncreas	Secreta jugo pancreático hacia el duodeno por medio del conducto pancreático (véase cuadro 24-4 para las enzimas pancreáticas y sus funciones)
Hígado	Produce bilis (sales biliares) necesaria para emulsión y absorción de los lípidos
Vesícula biliar	Almacena, concentra y libera bilis hacia el duodeno por medio del conducto colédoco
Intestino delgado	Sitio principal de digestión y absorción de nutrientes y agua en el tubo digestivo
Mucosa/submucosa	
Glándulas intestinales	Secretan jugo intestinal
Glándulas duodenales (de Brunner)	Secretan un líquido alcalino que amortigua el ácido gástrico y mucus para protección y lubricación
Microvellosidades	Proyecciones microscópicas de las células epiteliales, cubiertas de membrana, que contienen enzimas del borde en cepillo (nombradas en el cuadro 24-4), y que aumentan la superficie para la digestión y la absorción
Velloidades	Proyecciones de la mucosa en forma de dedo que son los sitios de absorción de los alimentos digeridos y aumentan la superficie para la digestión y absorción
Plegues circulares	Plegues de la mucosa y la submucosa que aumentan la superficie para la digestión y absorción
Muscular	
Segmentación	Contracciones alternadas de las fibras circulares de músculo liso que producen la segmentación y la resegmentación de las secciones del intestino delgado; mezcla el quimo con los jugos digestivos y contribuye a que los alimentos entren en contacto con la mucosa para su absorción
Complejo motor migrante (CMM)	Tipo de peristalsis que consiste en ondas de contracción y relajación de las fibras de músculo liso circular y longitudinal a lo largo del intestino delgado; mueve el quimo hacia la válvula ileocecal

► PREGUNTAS DE REVISIÓN

- Mencione las regiones del intestino delgado y describa sus funciones.
- ¿De qué manera se adaptan la mucosa y la submucosa para la digestión y la absorción?
- Describa los tipos de movimientos que ocurren en el intestino delgado.
- Explique las funciones de la amilasa pancreática, la aminopeptidasa, la lipasa gástrica y la desoxirribonucleasa.
- ¿Cuál es la diferencia entre la digestión y la absorción? ¿Cómo se absorben los productos finales de la digestión de carbohidratos, proteínas y lípidos?
- ¿Por qué vías los nutrientes absorbidos llegan al hígado?
- Describa la absorción de electrolitos, vitaminas y agua por el intestino delgado.

INTESTINO GRUESO

► OBJETIVO

Describir la anatomía, la histología y las funciones del intestino grueso.

El intestino grueso es la porción terminal del tracto GI. Las funciones del intestino grueso son, sobre todo, la de completar la absorción, la producción de ciertas vitaminas, la formación de las heces y la expulsión de éstas del cuerpo.

Anatomía del intestino grueso

El **intestino grueso**, que tiene alrededor de 1.5 m de largo y 6.5 cm de diámetro, se extiende desde el íleon hasta el ano. Está fija-

a la pared abdominal posterior por su **mesocolon**, que es una capa doble del peritónico. Estructuralmente, las cuatro regiones principales del intestino grueso son el ciego, el colon, el recto y el canal anal (fig. 24-22a).

En la desembocadura del íleon en el intestino grueso se interpone un pliegue de la membrana mucosa, llamado **esfínter (válvula) ileocecal**, que permite el paso de los materiales del intestino delgado al intestino grueso. Por debajo del esfínter ileocecal se halla el **ciego**, una pequeña bolsa de 6 cm de largo. Unido al ciego hay una estructura tubular enrollada, que mide alrededor de 8 cm de largo, llamada **apéndice vermiforme** (vermi-, de *vermis*, gusano, y -*forme*, forma) o simplemente **apéndice** (de *appendix*, accesorio). El mesenterio del apéndice, llamado **mesoapéndice**, lo mantiene adosado a la parte inferior del mesenterio del íleon.

El extremo abierto del ciego se funde con un largo tubo llamado **colon** (pasaje de alimento) que se divide en las porciones ascendente, transverso, descendente y sigmoideo. El colon ascendente y descendente son retroperitoneales, no así el colon transverso y el colon sigmoideo. Fiel a su nombre, el **colon ascendente** asciende por el lado derecho del abdomen, llega a la superficie inferior del hígado y gira

abruptamente hacia la izquierda para formar la flexura cólica derecha (**ángulo hepático**). El colon continúa por el abdomen hacia el lado izquierdo como **colon transverso**. Se curva por debajo del borde inferior del bazo, donde forma la flexura cólica izquierda (**ángulo esplénico**) y desciende por debajo de la cresta iliaca como **colon descendente**. El **colon sigmoideo** (de *sigmoides*, parecido a la letra sigma) comienza cerca de la cresta iliaca izquierda, se proyecta hacia la línea media y se continúa con el recto cerca de la tercer vértebra sacra.

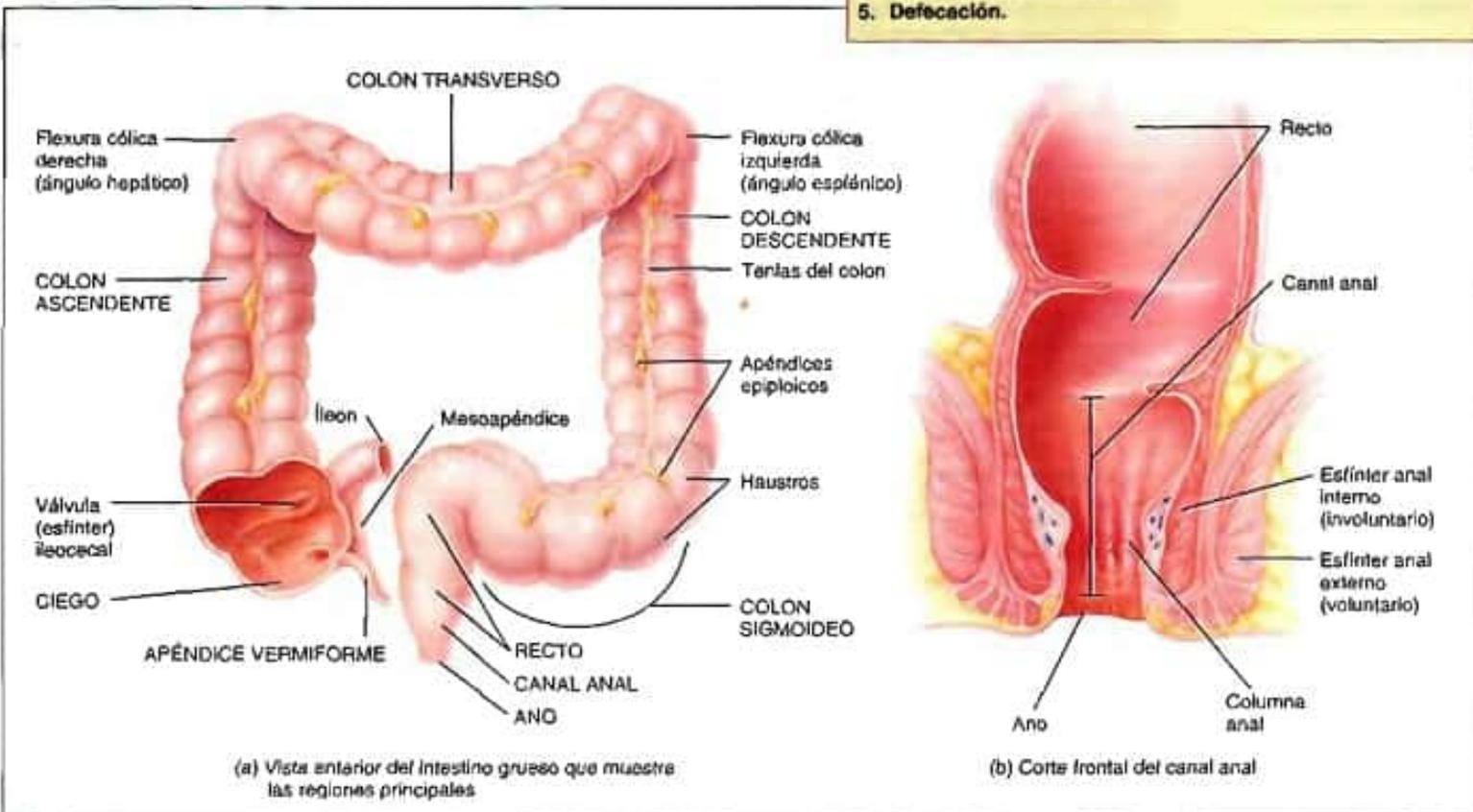
El **recto**, los últimos 20 cm del tubo digestivo, es anterior al sacro y al cóxis. Los últimos 2 a 3 cm del recto forman el **canal anal** (fig. 24-22b). La mucosa del canal anal está compuesta por pliegues longitudinales llamados **columnas anales**, que contienen una red de arterias y venas. En el orificio externo del conducto anal, llamado **ano**, hay un **esfínter anal interno** de músculo liso (involuntario) y un **esfínter anal externo** de músculo esquelético (voluntario). Nor-

Fig. 24-22 Anatomía del intestino grueso.

Las regiones del intestino grueso son el ciego, el colon, el recto y el conducto anal.

Funciones del intestino grueso

1. La propulsión haustral, el peristaltismo y los movimientos peristálticos en masa conducen el contenido del colon hacia el recto.
2. Las bacterias del intestino grueso convierten a las proteínas en aminoácidos, degradan los aminoácidos y producen algo de vitamina B y vitamina K.
3. Absorción de parte del agua, iones, y vitaminas.
4. Formación de las heces.
5. Defecación.



¿Qué segmentos del colon son retroperitoneales?

malmente estos esfínteres mantienen al ano cerrado, excepto durante la evacuación de las heces.

Apendicitis

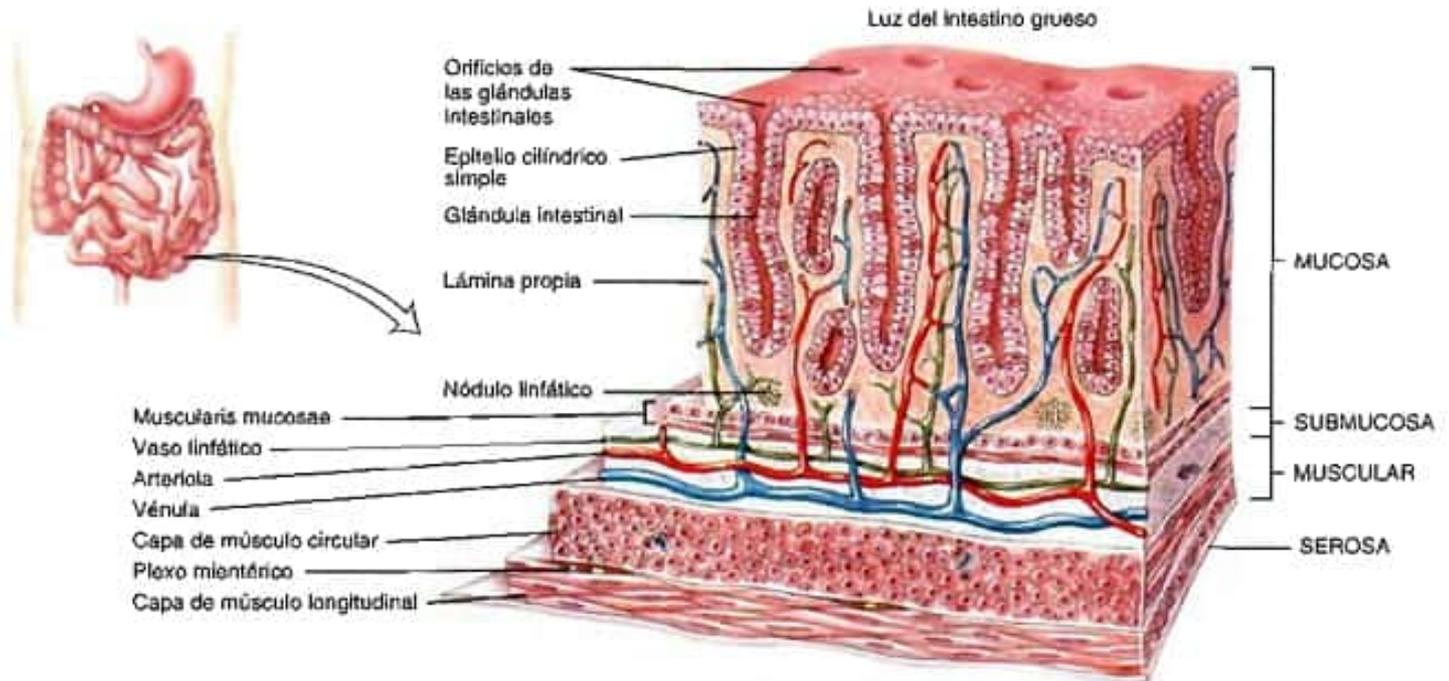
La inflamación del apéndice, llamada **apendicitis**, está precedida por la obstrucción de la luz del órgano por el quimo, una inflamación, un cuerpo extraño, un carcinoma de ciego, la estenosis o el vólvulo del ciego. Se caracteriza por fiebre alta, recuento elevado de glóbulos blancos y una neutrofilia mayor del 75%. La infección consecutiva puede causar edema e isquemia y progresar a la gangrena o la perforación en menos de 24 horas. Habitualmente, la apendicitis comienza con dolor referido en la región umbilical del abdomen, seguido de anorexia (pérdida del apetito), náuseas y vómitos. Al cabo de varias horas, el dolor se localiza en el cuadrante inferior derecho (CID) o la fosa iliaca derecha (FID) y es continuo, sordo e intenso y aumenta con la tos, el estornudo o los movimientos del cuerpo. Se recomienda la apendicectomía temprana (extirpación del apéndice) porque es más seguro operar que correr el riesgo de ruptura, peritonitis y gangrena. Aunque solía ser cirugía mayor en el pasado, hoy en día las apendicectomías se llevan a cabo por lo general por laparoscopia. ■

Histología del intestino grueso

La pared del intestino grueso contiene las cuatro tunicas o capas encontradas en el resto del tubo digestivo: mucosa, submucosa, muscular y serosa. La **mucosa** consiste en un epitelio cilíndrico simple, la lámina propia (tejido conectivo areolar) y la muscularis mucosae (músculo liso) (fig. 24-23a). El epitelio contiene en su mayor parte células absortivas y células caliciformes (fig. 24-23b y c). Las células absortivas participan principalmente en la absorción de agua; las células caliciformes secretan moco que lubrican el paso del contenido colónico. Tanto las células absortivas como las caliciformes se localizan en glándulas intestinales largas, rectas y tubulares (criptas de Lieberkühn) que se extienden por todo el espesor de la mucosa. Se pueden observar ganglios linfáticos solitarios en la lámina propia que se extienden a través de la muscularis mucosae hasta la submucosa. En comparación con el intestino delgado, la mucosa del intestino grueso no tiene tantas adaptaciones estructurales que incrementen el área de superficie. No hay pliegues circulares ni vellosidades; aunque las microvellosidades de las células absortivas están presentes. De esta manera, la absorción es mucho mayor en el intestino delgado que en el intestino grueso.

Fig. 24-23 Histología del intestino grueso.

 Las glándulas intestinales están formadas por epitelio cilíndrico simple y células caliciformes y se extienden por todo el espesor de la mucosa.



(a) Vista tridimensional de las capas del intestino grueso