



# Capítulo dos

## Ingreso y utilización de los alimentos en el sistema digestivo

### Objetivo del capítulo

Que el estudiante conozca los componentes principales de las diferentes secciones del sistema gastrointestinal, la función desempeñada por cada estructura, los mecanismos de regulación neuroendocrina implicados y algunos ejemplos de aplicaciones de la fisiología en aspectos de la alimentación y la nutrición.

### Generalidades sobre el aparato digestivo

El aparato digestivo es un sistema enrollado de 6 a 9 m de largo que empieza en la boca y termina en el ano. Las secciones que lo conforman son boca, faringe, esófago, estómago, intestino delgado, intestino grueso y ano. Además, para funcionar requiere de órganos accesorios interconectados, como los dientes, las glándulas salivales, el páncreas exocrino, el hígado y la vesícula biliar. Mediante métodos químicos y mecánicos, el aparato digestivo digiere los alimentos hasta obtener sus nutrimentos, para que posteriormente se lleve a cabo el proceso de absorción y transporte hacia las células.

Las funciones del aparato digestivo incluyen las siguientes (figura 2-1):

1. **Ingestión:** introducción de alimentos y líquidos a la boca.
2. **Secreción:** liberación de jugos digestivos en respuesta a estímulos específicos (en promedio 7 L al día).
3. **Mezclado y propulsión:** contracción y relajación de los músculos que propician la motilidad o peristaltismo.
4. **Digestión:** hidrólisis de los alimentos en moléculas suficientemente pequeñas como para que atraviesen la membrana plasmática por una de dos técnicas, mecánica o química.
5. **Absorción:** paso de las moléculas al interior de la célula intestinal (o alguna otra célula con capacidad de absorción).
6. **Defecación:** eliminación de los desechos indigeribles de los alimentos y de otro tipo (bacterias, células) a través de las heces.

El peristaltismo se define como la contracción de la musculatura del tubo digestivo en sentido proximal a distal (de la boca hacia el ano). En este proceso están implicadas fibras musculares circulares y longitudinales que actúan en forma coordinada para transportar los alimentos y los jugos digestivos a lo largo del mismo con el fin de llevar a cabo los procesos de digestión, absorción y eliminación de los restos alimenticios.

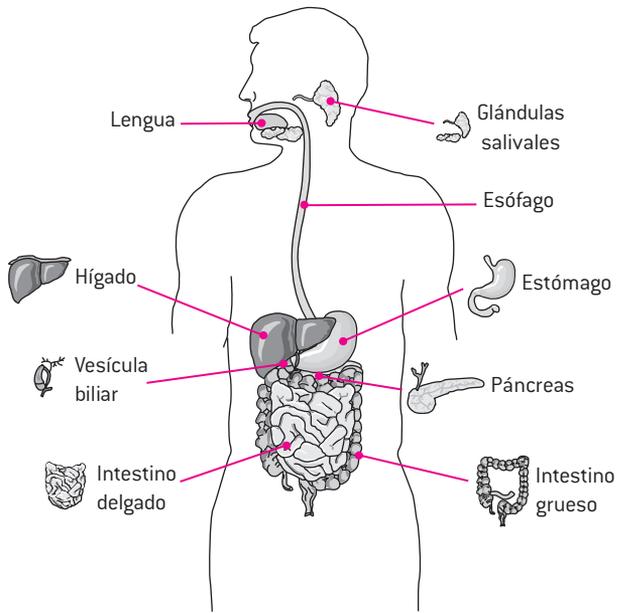


Figura 2-1.

## Boca

La boca es el orificio de entrada de los alimentos, y comprende los carrillos, el paladar duro y el blando, las encías, la dentadura, las glándulas salivales y la lengua. En su parte posterior se conecta con la faringe (figura 2-2).

La dentadura está formada por cuatro tipos de piezas; los incisivos sirven para cortar los trozos grandes de alimento que entran a la boca; la función de los caninos, o colmillos, es desgarrar alimentos como las carnes, en tanto que con premolares y molares se muelen y trituran los alimentos (figura 2-3). La acción conjunta de los músculos maxilares ocluye los dientes con una fuerza hasta de 25 kg en los incisivos y 100 kg en los molares. La masticación es importante para la digestión de los alimentos, especialmente de frutas y verduras crudas, dado su elevado contenido de membranas de celulosa

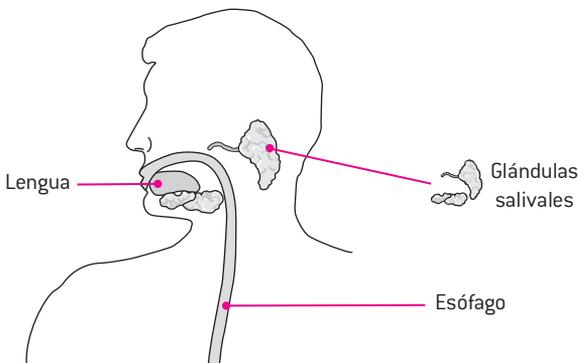


Figura 2-2.

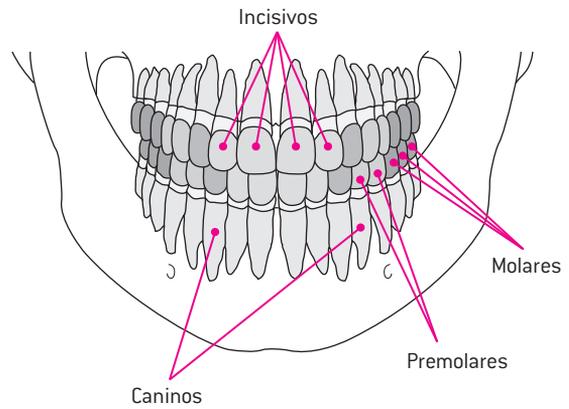


Figura 2-3.

indigeribles que rodean las porciones nutritivas y que deben romperse para poder aprovecharlas. Las enzimas digestivas sólo actúan sobre la superficie de las partículas de alimento, por lo que la velocidad de la digestión depende de la superficie total expuesta a las secreciones digestivas y, por lo tanto, de un buen proceso de masticación. Durante su vida, el ser humano cuenta con dos clases de dentadura, los dientes de leche (temporales, deciduos) y los permanentes. En el cuadro 2-1 se resumen las etapas de la vida en que tiene lugar la erupción de la dentadura temporal y de la permanente.

Cada pieza dental está formada por diferentes capas. La corona es la parte que sobresale de la encía y la raíz la que se encuentra dentro de ésta, de modo que no es visible a simple vista. De afuera hacia dentro, las capas que conforman el diente son esmalte, dentina y pulpa. Las piezas dentales se unen a la mandíbula mediante una capa de cemento y el ligamento alveolar (figura 2-4).

En la boca se lleva a cabo el proceso de masticación, primer paso para la degradación mecánica de los alimentos. Sus funciones incluyen las siguientes:

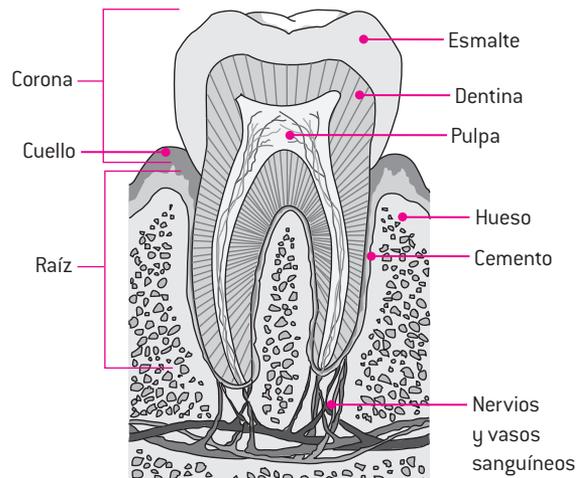


Figura 2-4.

**Cuadro 2-1.** Erupción de la dentadura

Dientes	Temporales	Permanentes
Incisivos	6 a 10 meses	7 a 8 años
Caninos	16 a 20 meses	11 años
Premolares		11 a 13 años
Molares	10 a 24 meses	6 a 25 años

1. Reducir los trozos grandes de alimento a fragmentos pequeños para aumentar la superficie de contacto del alimento con las enzimas digestivas.
2. Suavizar el alimento para facilitar la deglución.
3. Lubricar el alimento en contacto con la saliva.

Las glándulas salivales producen una secreción líquida llamada **saliva**; la cantidad que se secreta es regulada por el sistema nervioso. La innervación parasimpática aumenta la secreción, mientras que la simpática la reduce; también disminuye en situación de estrés. Diariamente se secretan entre 800 y 1 500 ml de saliva, especialmente durante los periodos de consumo de alimentos, pero el proceso está activo durante todo el día. El pH de la saliva fluctúa entre 6 y 7, límites adecuados para la acción digestiva de la ptialina (amilasa salival), cuya secreción es fomentada por los alimentos, por la presencia de irritantes en la boca, como el picante, por pensar en comida o por oler alimentos (activación psíquica), así como por las náuseas.

Existen tres pares de glándulas salivales: las parótidas producen una secreción principalmente serosa (acuosa); las submaxilares (mandibulares) una secreción mixta serosa y mucosa, y las sublinguales, con carácter de predominio mucoso; además, hay muchas glándulas bucales pequeñas que sólo secretan moco (figura 2-5).

Los ácinos contienen células epiteliales productoras de saliva, secreción que contiene 99.5% de agua y 0.5% de solutos que incluyen electrolitos como sodio, potasio, cloro, bicarbonatos, fosfatos, moco, gases disueltos, urea, ácido úrico, inmunoglobulina A, lisozima (enzima bacteriolítica) y enzimas

como la amilasa y la lipasa lingual. Las funciones de la saliva incluyen lubricar el alimento para que, con la masticación, se forme el bolo alimenticio; además, la saliva solubiliza los alimentos secos y polvosos (como un polvorón) y favorece la higiene oral porque ayuda a eliminar residuos de alimento, además de que la lisozima lisa destruye bacterias y previene la sobrepoblación bacteriana de la boca. La amilasa salival, o ptialina, se relaciona con la digestión de los almidones, hasta formar moléculas de maltosa; su alto contenido de bicarbonatos ayuda a controlar el pH de la boca y reduce la acidez y el riesgo de desgaste excesivo del esmalte de los dientes.

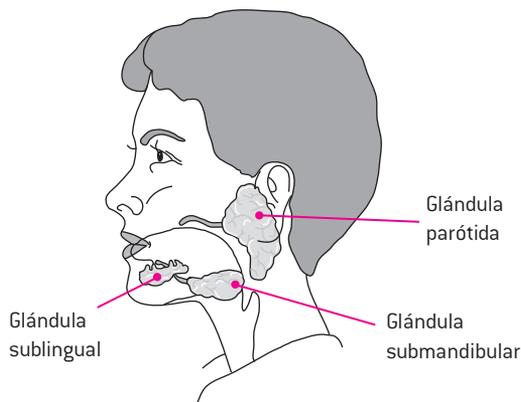
## Sentido del gusto

Los órganos de los sentidos participan activamente en el proceso de la alimentación; permiten apreciar la presentación de un pastel de chocolate con relleno de fresas y crema pastelera (*vista*), percibir la textura suave del aguacate (palta) o la dura de una zanahoria cruda (*tacto*); oír el crujido del apio (*oído*), detectar el perfume de la vainilla y la canela (*olfato*) y degustar un delicioso platillo típico de las fiestas de Navidad (*gusto*).

Con la vista nos hacemos una idea inicial del sabor por el aspecto, aunque en última instancia depende del paladar y el olfato. Este último detecta de inmediato el aroma del alimento, mientras que la lengua necesita que el paladar envíe una señal al cerebro para identificar el sabor.

El **sabor** es la impresión sensorial que provoca un alimento, platillo o sustancia que llega a la boca, determinado principalmente por las sensaciones químicas reveladas por la lengua y el olfato. Estas sensaciones son captadas por las papilas gustativas situadas en diferentes regiones de la lengua, las cuales se encargan de enviar impulsos nerviosos al cerebro para que interprete la señal y responda en consecuencia. Mientras más concentrado sea el sabor de un alimento, más señales se envían al cerebro que permiten diferenciar un alimento insípido de uno con buen sabor. El mecanismo del sabor es relativamente sencillo; al llegar un alimento a la boca, se desmenuza por la acción de las piezas dentales y se desprenden aromas que ascienden por la faringe a la nariz (causando la sensación de sabor-olor), además de que se captan sustancias químicas que afectan a los sensores específicos de la lengua.

El sabor “real” de los alimentos se detecta en las papilas gustativas de diferentes regiones de la lengua; el ser humano tiene varios miles de estos sensores. Se desconoce la identidad de todas las sustancias químicas que excitan los diversos receptores gustativos de las papilas, pero se ha identificado un mínimo de 13 receptores químicos: 2 para el sodio, 2 para el potasio, 1 para el cloruro, 1 para la adenosina, 1 para la inosina, 2 para el sabor dulce, 2 para el sabor amargo, 1 para el glutamato y 1 para el ion hidrógeno. Se conocen cinco sensaciones gustativas primarias: dulce, salado, ácido, amargo y umami; muy recientemente se sumó el sabor adiposo o graso, responsable del gusto que dan las grasas al calentarse y fusionarse con los alimentos.



**Figura 2-5.**

En la superficie de la lengua están las papilas gustativas, formadas por los botones gustativos o receptores del gusto que, por estar conectados con el sistema nervioso central, permiten detectar el sabor de los alimentos (figura 2-6).

El sabor agrio o ácido depende de la concentración del ion hidrógeno, el salado lo provocan las sales ionizadas, especialmente la concentración del ion sodio. El sabor dulce es ocasionado por una mezcla de varias sustancias, entre otras, azúcares, glicoles, alcoholes, aldehídos, cuerpos cetónicos, amidas, ésteres, ciertos aminoácidos, algunas proteínas de tamaño pequeño, los ácidos sulfónicos y los halogenados, así como las sales inorgánicas de plomo y berilio. Lo mismo sucede con el sabor amargo, que no es originado por un único tipo de sustancia química, y los principales agentes incluyen compuestos orgánicos de cadena larga que contienen nitrógeno, además de alcaloides (p. ej., quinina, cafeína, estricnina y nicotina, que son fármacos empleados en medicamentos). El sabor umami, término derivado de un vocablo japonés que significa “delicioso”, corresponde al sabor de la carne, los quesos curados y el L-glutamato.

Lo que el sentido del gusto determina se limita a los seis sabores antes mencionados, mientras que la captación de los olores de la comida es muy variada. El sabor puede cambiar si cambia el olor del alimento; un ejemplo sería el agua que adquiere el sabor del pepino en el refrigerador o bien, los caramelos con saborizantes artificiales, cuyo sabor se modi-

fica mediante distintas esencias y fragancias. Por eso, aunque el término “saborizante” hace referencia al sabor, también se usa para referirse a las fragancias y esencias usadas para modificar el sabor de un alimento. La percepción del sabor provoca reacciones fisiológicas de defensa en el organismo, como la salivación excesiva provocada por el jugo de limón, dada su excesiva acidez; con ese mecanismo de “defensa” se intenta diluir su efecto ácido. Los sabores amargos se detectan a muy bajas concentraciones porque están presentes en plantas venenosas, y desde hace miles de años es un mecanismo de conservación de nuestra especie.

La percepción de los sabores se detecta aplicando pruebas de umbral de sabor, mediante las cuales se ha demostrado que la percepción de los sabores amargo, ácido y umami implica concentraciones mucho menores que para lo salado y lo dulce (cuadro 2-2). La predominancia de un sabor en la comida es símbolo de una cultura o etnia.

Por ejemplo, el chile y las salsas picantes de la dieta del mexicano, en la cual, la capsaicina (de los chiles) activa los sensores termorreceptores del nervio trigémino y activa la circulación, como si de una quemazón se tratara; o la salsa de soja de la comida oriental, que acentúa el sabor umami de alimentos como el sushi. Por otra parte, la percepción de los sabores cambia en diferentes estados fisiológicos; el lactante recién nacido es capaz de detectar el sabor dulce de la lactosa de la leche materna y más o menos a los cuatro meses, sus papilas gustativas pueden detectar el sabor salado, fenómeno que favorece la transición del consumo exclusivo de leche a la introducción de nuevos alimentos durante el patrón de ablactación.

Si se añade azúcar a un biberón de agua, los bebés lo succionan durante más tiempo que si se trata sólo de agua, y además, por la expresión de su cara, los bebés pueden dar muestra de la detección adecuada de los sabores. Los músculos de la cara se relajan espontáneamente ante un sabor dulce, en cambio, los labios se fruncen cuando el sabor es ácido y suelen abrir la boca en forma de arco para expresar que el sabor percibido es amargo. Las niñas prefieren los alimentos de sabor dulce y también los sabores suaves, a diferencia de los niños, que disfrutan más con sabores ácidos y pronunciados. De hecho, si se traduce la percepción de los sabores en cifras, los niños precisan un promedio de 10% más de acidez y las niñas de 20% más de dulzura para reconocer los sabores originales correspondientes, ácido y dulce. Algunas mujeres embarazadas perciben de manera distinta los olores y sabores durante el embarazo, y a partir de los 60 años y aún más

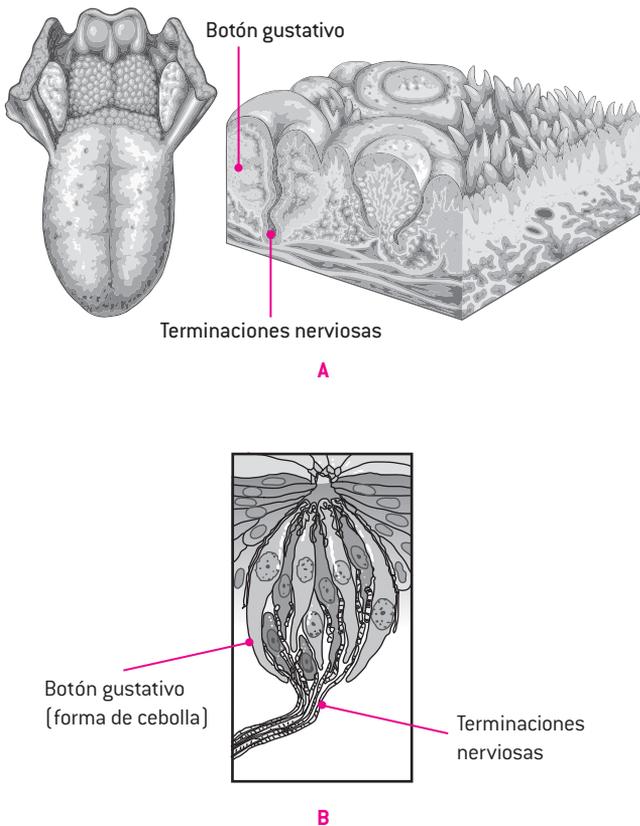


Figura 2-6.

Cuadro 2-2. Umbral de sabores

Sabor	Sustancia	Umbral
Dulce	Sacarosa	0.01 M
Ácido	Ácido clorhídrico	0.0009 M
Salado	Cloruro de sodio	0.01 M
Amargo	Quinina	0.000008 M
Umami	Glutamato	0.0007 M

después de los 70, disminuye progresivamente la percepción de los sabores, de ahí los cambios en la predilección de alimentos y la forma de comer de la gente mayor. El anciano percibe menos los sabores dulces y salados, por lo que agrega más azúcar y sal a sus platillos, justo en la época de la vida en que es más frecuente la necesidad de restringirlos, si sufren de hipertensión arterial, otros problemas cardiovasculares o presentan diabetes.

Otros factores que alteran la percepción de los sabores es la temperatura del alimento, no hay nada mejor que una cerveza bien helada o un café bien caliente...; la mezcla de sabores básicos (amargo y dulce en un café, cuando se disimula el sabor amargo); los potenciadores del sabor, como especias o condimentos (arroz con leche y canela), así como el contenido y el tipo de grasa (una quesadilla frita en manteca).

En determinadas circunstancias, el sentido del gusto se altera y la persona no percibe el sabor real y natural del alimento, o el que se aprecia es distinto del real o lo más intenso, hasta el punto de resultar desagradable. Las causas de la alteración del gusto son muy diversas y suelen estar asociadas con lesiones de la boca o la lengua, con afecciones de las vías respiratorias altas, o bien, con tumores de la boca, el cuello o la cabeza y los tratamientos correspondientes.

La sensibilidad del gusto suele modificarse de forma diferente, y en mayor o menor grado. Así, se denomina *hipogeusia* a la disminución de la sensibilidad gustativa, *ageusia* a la ausencia total del gusto por los alimentos, y *disgeusia* a una alteración del gusto en que algunos sabores se perciben más que otros. Las afecciones del olfato también influyen en la percepción del sabor y se manifiestan como percepción baja (hipoosmia) o nula de los olores (anosmia) o como trastornos de la percepción de los mismos (disosmia).

En la boca, los cambios de percepción de los sabores se deben al hábito de fumar, al uso de prótesis dentales, a las caries o a la inflamación de la lengua, entre otras causas. La percepción de los sabores se modifica por diversas causas, entre otras, consumo de medicamentos, tabaquismo y enfermedades como el cáncer. La deficiencia de ciertos nutrimentos, como las vitaminas A y E y minerales como el zinc, se asocian con trastornos o pérdida del sentido del gusto, lo cual incide de forma importante en el consumo de alimentos.

De las sensaciones químicas, el olor es el principal determinante del sabor de un alimento, razón de que en una persona constipada o que padezca alguna alergia que resulte en congestión nasal, disminuya la sensación de sabor de los alimentos. La falta de gusto al comer puede llevar a pérdida del apetito y a reducir la ingestión de alimentos.

Todo ello podría dar lugar al deterioro del estado nutricional del sujeto, y en caso de enfermedad, se relaciona con un mal pronóstico, una respuesta deficiente al tratamiento y la consiguiente demora de la recuperación. A esto puede sumarse el riesgo de intoxicación alimentaria si se consume un alimento en mal estado, pues no se detecta su mal sabor. En el cuadro 2-3 se resume la función de las vitaminas y los nutrimentos inorgánicos en la salud dental.

**Cuadro 2-3.** Función de los nutrimentos en la salud bucal

Nutrimento	Función
Vitamina A	Salud de las encías, mantenimiento de las mucosas bucales
Vitamina D	Salud de huesos y dientes y crecimiento de mandíbulas
Vitamina K	Importante en la coagulación sanguínea
Vitamina C	Importante en la salud periodontal y de las encías Relacionada con la cicatrización de heridas, formación de colágeno Previene el escorbuto
Riboflavina	En caso de deficiencia se presenta queilitis y glositis
Ácido fólico	Favorece el desarrollo de las estructuras de la boca Debe consumirse durante el embarazo
Hierro	Síntesis del eritrocito, producción de energía La deficiencia resulta en glositis
Calcio	Relacionado con la formación de huesos y dientes
Fósforo	Metabolismo energético, formación de huesos y dientes
Potasio	Necesario para la contracción muscular y la función nerviosa
Zinc	Reparación de los tejidos, cicatrización de heridas, metabolismo normal
Cromo	Relacionado con el metabolismo de la glucosa y la liberación de energía
Flúor	Mantiene la integridad de huesos y dientes
Cobre	Necesario en la producción de sangre y fibras nerviosas

## Faringe

Es la segunda porción del sistema gastrointestinal y conecta la parte posterior de la boca con el esófago; también en la faringe converge el inicio de la laringe, que comunica con las vías respiratorias bajas. La epiglotis es un fibrocartílago laríngeo que actúa como tapadera y que en el momento de la deglución ocluye la entrada a la laringe e impide el paso de lo deglutido al árbol respiratorio; con la boca y el esófago participa en el proceso de la deglución. Esta última es un proceso complicado, sobre todo porque la función de la faringe es tanto respiratoria como deglutoria, y se transforma durante unos segundos en el conducto que propulsa los alimentos. La deglución puede dividirse en tres fases principales. En la primera, el bolo alimenticio pasa a la parte posterior de la cavidad oral y es impulsado hacia la faringe por acción de la parte posterior de la lengua y el paladar; es la única fase voluntaria de la deglución. Posteriormente, el bolo alimenticio pasa de manera involuntaria de la faringe al esófago, y la epiglotis mantiene cerrada la laringe para evitar la broncoaspiración. Mediante contracciones peristálticas que inician en la faringe, el bolo alimenticio es conducido hacia el esófago. Los movimientos peristálticos tardan de 5 a 8 segundos en atravesar el esófago y llegar al estómago.

## Esófago

El esófago constituye la tercera porción del sistema gastrointestinal; conecta la faringe con el estómago. Su función principal consiste en conducir con rapidez los alimentos de la faringe al estómago, de modo que sus movimientos peristálticos apuntan al desempeño de dicha función. Secreta moco como mecanismo de protección, mide aproximadamente 25 cm y tiene dos esfínteres (figura 2-7):

1. Esfínter esofágico superior: durante la deglución oprime la laringe y favorece la conducción del alimento al esófago.
2. Esfínter esofágico inferior o cardias: rodea al esófago en el punto en que se inicia el estómago.

En condiciones normales, el esfínter esofágico inferior suele mantenerse contraído, mientras que la porción intermedia del esófago permanece relajada. Al descender por el esófago una onda peristáltica de deglución, induce la relajación del esfínter esofágico inferior previo a la llegada de la onda peristáltica para facilitar la propulsión del bolo alimenticio deglutido hacia el estómago. Una vez que pasa el bolo alimenticio, se vuelve a cerrar e impide el retorno (reflujo) del contenido gástrico al esófago. Este último está expuesto a lesiones por el consumo de alimentos punzocortantes, como tortillas fritas y endurecidas y espinas de pescado.

## Estómago

El estómago es una sección expandida del sistema gastrointestinal que conecta el esófago con el intestino delgado;

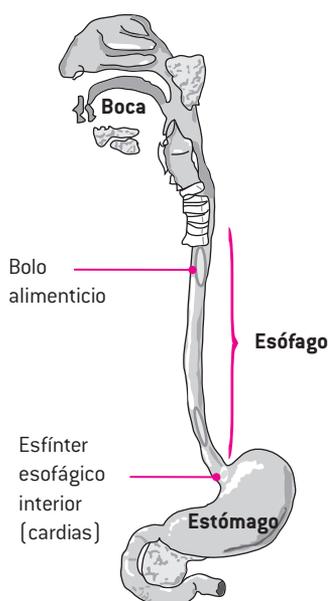


Figura 2-7.

funcionalmente se divide en tres porciones, fondo, cuerpo y antro gástrico y finaliza en el esfínter pilórico o píloro. El estómago está revestido de células productoras de moco y posee dos tipos de glándulas: a) oxínticas (formadoras de ácido), que secretan ácido clorhídrico, pepsinógeno y factor intrínseco, además de moco y b) pilóricas, que secretan moco y gastrina. Sus funciones se relacionan con:

1. Almacenamiento (a manera de reservorio) del bolo alimenticio a corto plazo que permite que una comida se consuma en un lapso reducido (15 a 20 min) y se digiera lentamente, esta función es tarea principal del fondo gástrico.
2. Digestión química y enzimática de los alimentos, en especial de las proteínas de la dieta, función que realizan principalmente el cuerpo y el antro gástrico.
3. Licuefacción de los alimentos mezclándolos con las secreciones gástricas.
4. Liberación lenta y paulatina del contenido gástrico hacia el intestino delgado.

El estómago vacío contiene de 100 a 150 ml de jugos gástricos y se encuentra plegado, mientras que durante el proceso de digestión puede aumentar a más de un litro, de modo que sus capas se distienden para contener a los alimentos y líquidos deglutidos. Además de las capas musculares longitudinales y circulares presentes en todo el sistema digestivo para favorecer el peristaltismo, el estómago cuenta con una capa oblicua que aumenta su capacidad para triturar y licuar los alimentos.

Las glándulas gástricas están formadas por varios tipos de células:

1. Células mucosas del cuello que secretan moco.
2. Células principales productoras de pepsinógeno (enzima proteolítica en forma inactiva).
3. Células parietales u oxínticas que secretan ácido clorhídrico y factor intrínseco.
4. Células G productoras de gastrina.
5. Células enterocromafines productoras de histamina.

El pepsinógeno es sintetizado y secretado en forma inactiva (zimógeno) por las células principales. Al entrar en contacto con el ácido clorhídrico se activa y convierte en pepsina (enzima activa). La pepsina es una enzima proteolítica activa en medios muy ácidos; su pH óptimo oscila entre 1.8 y 3.5. Cuando el pH se eleva a más de 5, se inactiva por completo en muy poco tiempo. Una vez que el bolo alimenticio hace contacto con el ácido clorhídrico en el cuerpo y antro gástricos, se convierte en quimo.

El mecanismo de las células parietales que regula la producción de ácido clorhídrico está sometido al control continuo de señales endocrinas y nerviosas. La función de las células enterocromafines es la de secretar histamina, que se activan, a su vez, por la liberación de gastrina; ambas actúan directamente sobre las células parietales para secretar HCl (figura 2-8).

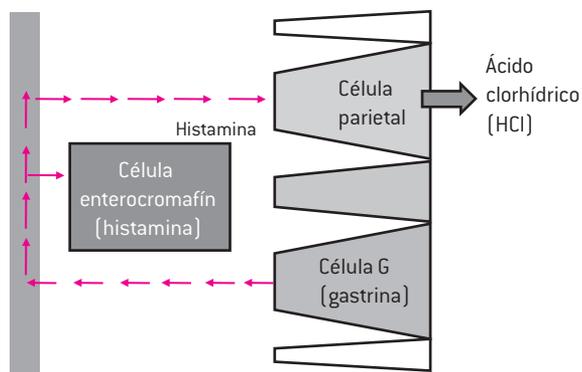


Figura 2-8.

Por otra parte, las células parecidas a las enterocromafines y las células G, reciben estimulación mediante la acetilcolina liberada desde las terminaciones nerviosas de los nervios vagos. Una vez que se activa la pepsina, esta enzima hidroliza a las proteínas presentes en el quimo, de modo que se obtienen péptidos (cadenas polipeptídicas y péptidos) de diferentes tamaños.

Cuando una persona sufre de hipoclorhidria (deficiencia de secreción de ácido clorhídrico) o aclorhidria (nula producción de ácido clorhídrico), manifestación común en las gastritis atróficas, presenta mala digestión de proteínas por falta de activación del pepsinógeno y deficiencia de factor intrínseco, por lo que también padecerá anemia por deficiencia de vitamina B<sub>12</sub>.

La digestión es un proceso muy complejo que depende del funcionamiento coordinado de gran cantidad de mediadores químicos (hormonas, neurotransmisores). Para su estudio, suele dividirse en tres fases, cefálica, gástrica e intestinal, las cuales se describen a continuación.

## Fases de la digestión

La primera fase de la digestión se conoce como **fase cefálica** (arrancan motores); la sensación de ver, oler o presentir la comida prepara al estómago para recibir los alimentos. Empieza con la liberación de acetilcolina por la estimulación parasimpática a través de los nervios vagos, que inician la liberación de gastrina en las células G (figura 2-9).

La segunda fase de la digestión se conoce como **fase gástrica** (a toda máquina). La presencia del quimo en la luz del estómago resulta en distensión e irritación de la mucosa, con lo cual se estimulan los quimiorreceptores de ésta y se aumenta la liberación de acetilcolina, gastrina e histamina, y a su vez, la de ácido clorhídrico y factor intrínseco por las células parietales y de pepsinógeno, por las principales. En contacto con el ácido clorhídrico, el pepsinógeno se activa en pepsina e hidroliza las proteínas del quimo.

La tercera fase, o **intestinal**, de la digestión, se inicia cuando el quimo ácido, ya de consistencia líquida, se vacía en el intestino delgado, de modo que las células de la pared intestinal incrementan la producción de colecistocinina y secretina. Estas hormonas demoran el vaciamiento gástrico e inician la secreción de los jugos pancreáticos, la bilis y los jugos intestinales ricos en bicarbonatos que cambian el pH del quimo al entrar al duodeno y continuar con el proceso de digestión intestinal.

En la etapa interdigestiva, el **complejo motor migratorio** elimina las partículas remanentes no digeridas en el estómago mediante ondas peristálticas lentas, proceso controlado por la **motilina**.

La capacidad de absorción de sustancias del estómago es baja, sin embargo, el etanol (alcohol) y algunos medicamentos liposolubles (ácido acetilsalicílico, antiinflamatorios no esteroideos) pueden ser absorbidos en sus paredes. Estos medicamentos suelen ser irritantes, dañar la mucosa gástrica

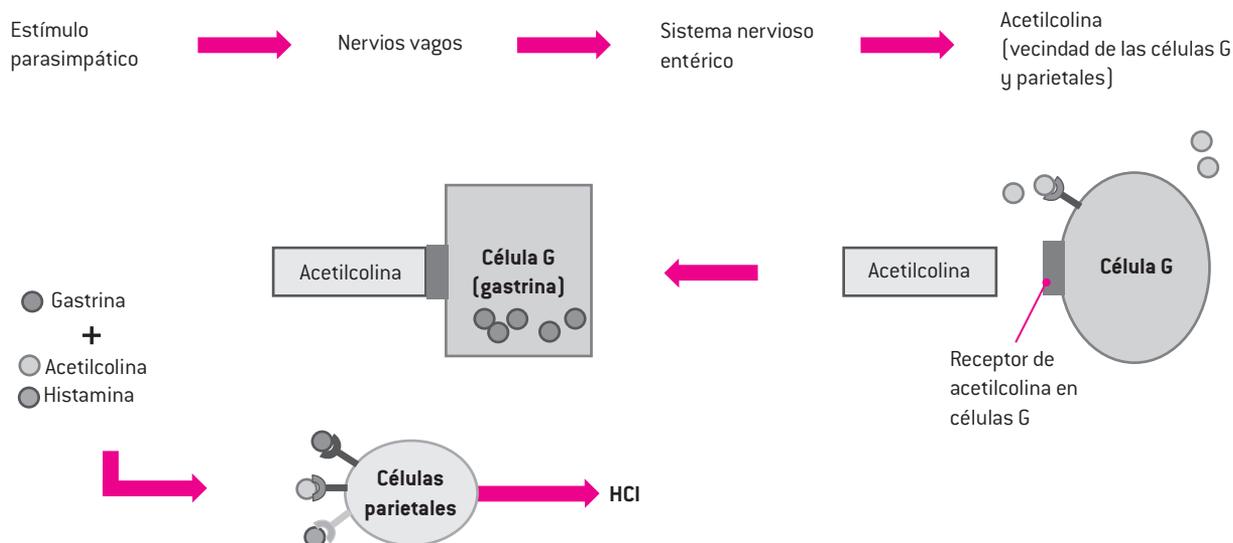


Figura 2-9. Fase cefálica.

y dar lugar a gastritis o úlceras. Las bebidas alcohólicas hacen efecto casi inmediatamente después de beberlas debido a que se absorben con rapidez en el estómago.

Antes de iniciar el recorrido del quimo a través del intestino delgado, es necesario hacer una pausa para conocer las funciones de los órganos anexos relacionados con la producción de secreciones necesarias para el proceso final de la digestión de los polímeros de nutrimentos, de modo que se revisarán las funciones del páncreas exocrino, el hígado y la vesícula biliar.

## Páncreas exocrino

El páncreas es una glándula de secreción mixta, pues sintetiza jugos pancreáticos que libera a través de un conducto hacia el duodeno (secreción exocrina) y hormonas como la insulina y el glucagón que libera hacia la sangre (secreción endocrina; figura 2-10).

El páncreas tiene forma de hoja alargada y se localiza en la cavidad abdominal, por detrás del peritoneo; mide de 12 a 15 cm de longitud y 2.5 cm de grueso. Anatómicamente se divide en cabeza, cuerpo y cola. Se conecta al duodeno mediante el conducto pancreático de Wirsung, el cual recorre toda la longitud de la glándula y se une mediante una intersección en “Y” con el conducto biliar común, el cual llega al duodeno a través del ámpula de Vater y el esfínter de Oddi. El hecho de que la vesícula biliar y el páncreas compartan un conducto para drenar su contenido hacia el duodeno, pone de manifiesto su función complementaria en el proceso de la digestión, pero esta característica puede incrementar los riesgos de trastornos y complicaciones multiorgánicas cuando cualquiera sufre alguna enfermedad. Por ejemplo, un cálculo en la vesícula que migre hacia el colédoco, puede desencadenar una pancreatitis.

El páncreas está formado por dos tipos principales de células, los ácinos (células acinares y ductales) y los islotes de Langerhans. Los ácinos pancreáticos constituyen 90% de la superficie celular de la glándula y se encargan de la producción de los jugos pancreáticos (secreción exocrina). Esta secreción contiene agua, iones, bicarbonatos y una mezcla de enzimas digestivas.

La producción de jugos pancreáticos es de aproximadamente 1 200 a 1 500 ml al día; se trata de un líquido incoloro

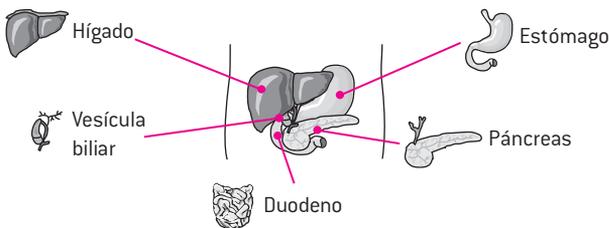


Figura 2-10.

con pH de 7.1 a 8.2 que contribuye a elevar el quimo ácido proveniente del estómago y a proteger al intestino delgado contra la corrosión ácida. Las células acinares se especializan en la síntesis de proteínas y de enzimas digestivas; secretan amilasa pancreática, que continúa la digestión de dextrinas y almidones contenidos en el quimo hidrolizando sus enlaces glucosídicos, hasta que sólo restan moléculas de maltosa (disacárido formado por dos moléculas de glucosa).

Para contribuir con el proceso de digestión de proteínas y péptidos, los jugos pancreáticos contienen tripsina, quimotripsina, elastasa, carboxipeptidasas, y aminopeptidasas, liberadas por los ácinos a manera de zimógenos (enzimas inactivas). Su activación requiere enterocinasa, enzima secretada por las células del borde intestinal en cepillo; al encontrarse con la quimotripsina la activa en tripsina, lo cual garantiza que su activación tendrá lugar al llegar a la luz del duodeno. La propia tripsina activa al resto de las proenzimas proteolíticas pancreáticas, enzimas que participan en la hidrólisis de los enlaces peptídicos de proteínas y péptidos, hasta formar dipéptidos o tripéptidos. El total de enzimas producidas se secreta, en el páncreas no hay reserva enzimática (figura 2-11),

Una vez emulsificados los lípidos en pequeñas gotas, por acción de los jugos pancreáticos, que contienen lipasas relacionadas con la hidrólisis del enlace éster de los triglicéridos, se liberan dos ácidos grasos libres (los de las posiciones 1 y 3 de la molécula) y un 2-monoglicérido que forman parte de las micelas en la luz del duodeno (figura 2-12).

Las células ductales de los ácinos se especializan en el transporte de líquidos y electrolitos, así como en la generación de una secreción acuosa de bicarbonatos para neutralizar el ácido gástrico que ingresa al duodeno; dicha secreción es proporcional a la mencionada carga de ácido clorhídrico, con un pH menor de 4.5.

Durante la fase cefálica de la digestión se libera un poco de secreción pancreática como resultado de reflejos vagales y por el aumento de la gastrina. Los jugos pancreáticos son liberados en la fase gástrica y la intestinal porque las células del intestino delgado secretan colecistocinina y secretina. La

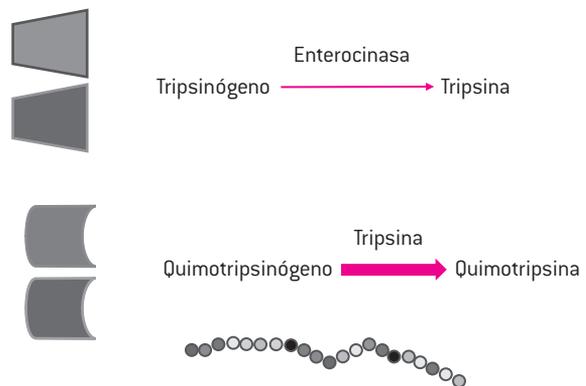


Figura 2-11. Proteasas pancreáticas.

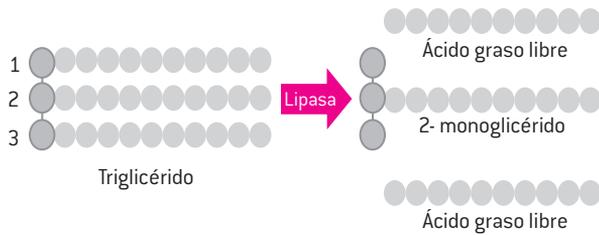


Figura 2-12.

secretina estimula a las células ductales para que aumenten su secreción de bicarbonatos, mientras que la colecistocinina hace lo propio con las células acinares para la liberación de enzimas digestivas.

## Hígado y vesícula biliar

El hígado es la glándula con mayor peso del organismo; en el adulto llega a tener un peso promedio de 1.4 kg. Se localiza en la cavidad abdominal, en la región conocida como hipocondrio derecho, y en una porción del epigastrio. Por su parte, la vesícula biliar es un saco en forma de pera, localizada en la cara posterior del hígado; mide de 7 a 10 cm de longitud (figura 2-13).

El hígado consta de 2 lóbulos, el derecho, de mayor tamaño que el izquierdo. Sus unidades funcionales son los lobulillos, que constan de células epiteliales especializadas conocidas como hepatocitos, las cuales están dispuestas en láminas ramificadas e irregulares, conectadas unas con otras, en torno a una vena central (figura 2-14).

Contiene, además, las células de Kupffer, células fagocíticas que destruyen leucocitos y eritrocitos viejos, bacterias y otros materiales extraños de la sangre venosa proveniente del tubo digestivo.

Los hepatocitos secretan de 800 a 1 000 ml de bilis al día. La bilis es una secreción de color amarillo pardusco o verde oliva, con pH 7.6 a 8.6; se compone de agua, sales biliares, colesterol, lecitina, iones y pigmentos biliares, y es importante en la digestión y absorción de los lípidos en el intestino. La bilis es al mismo tiempo una secreción y excreción digestiva, ya que una de sus funciones es eliminar colesterol y otras sustancias lipídicas a través de las heces. Las sales biliares se relacionan con la emulsión de los lípidos, es decir, que aumenta la superficie de contacto de los lípidos con la lipasa pancreática, en tanto que el colesterol se torna soluble en la bilis por efecto de las sales biliares y la lecitina.

La bilis es secretada en forma continua por los canalículos hepáticos y fluye hacia la vesícula biliar, que funciona como reservorio entre una y otra comida. La tasa de secreción depende de la presencia de alimento. El ácido biliar cólico y el quenodesoxicólico se sintetizan en el hígado a partir del colesterol y se conjugan con lisina o taurina. Al estar ionizados a pH neutro, los ácidos biliares conjugados se encuentran como sales de sodio o potasio, por lo tanto, se conocen como sales biliares. Los ácidos biliares secundarios se forman por desconjugación y deshidroxilación de las sales biliares primarias a través de las bacterias intestinales para formar el ácido desoxicólico, a partir del cólico, y el litocólico a partir del quenodesoxicólico. El ácido litocólico es hepatotóxico (daña al hígado) y en condiciones normales se excreta por las heces.

Los ácidos biliares se absorben sobre todo en el íleon, a través de transporte activo; se absorbe casi 95% de la reserva total, el resto de la poza de sales biliares se sintetiza diariamente en el hígado. Este reciclado de sales biliares en el hígado a través de la circulación porta después de su absorción en el intestino se conoce como **circulación enterohepática de sales biliares**. Los ácidos biliares son captados por los hepatocitos en la sangre y reconjugados, para después ser

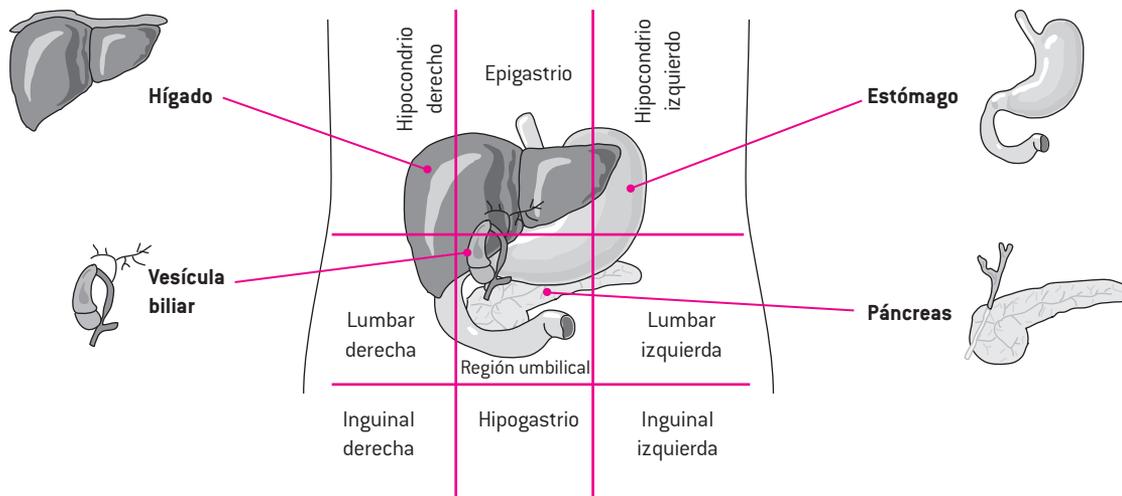


Figura 2-13.

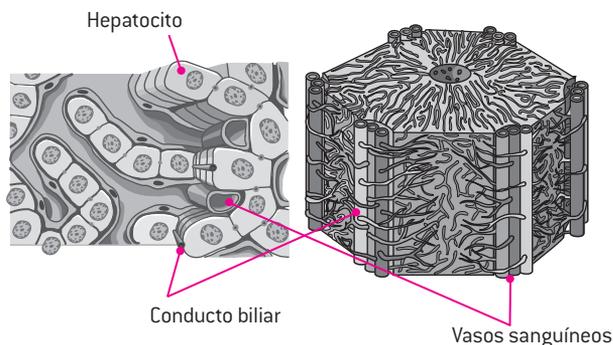


Figura 2-14.

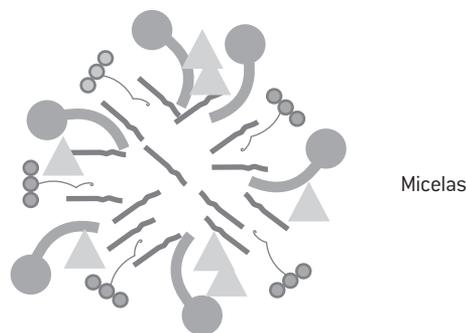


Figura 2-16.

secretados nuevamente hacia la vesícula. Los ácidos biliares deben recircularse de tres a cinco veces para la digestión de una comida normal.

La secreción biliar es regulada por la colecistocinina, que provoca la contracción de la vesícula biliar y la relajación del esfínter de Oddi. Por su parte, la secretina estimula los conductillos y conductos biliares para secretar un líquido acuoso, rico en bicarbonatos (figura 2-15).

En el intestino delgado, las sales biliares forman micelas, vehículo para el transporte e hidrólisis de los materiales liposolubles (figura 2-16).

La formación de micelas es de suma importancia para la digestión y absorción de los lípidos; el daño o la resección quirúrgica de la porción distal del íleon resulta en deficiencia de sales biliares y propicia una deficiente digestión y absorción de las grasas que se manifiestan como esteatorrea (heces con alto contenido de lípidos).

Además de participar en la producción de bilis, el hígado interviene también en múltiples funciones relacionadas con el metabolismo de los nutrientes. Respecto del metabolismo de los hidratos de carbono, influye en el mantenimiento de la glucemia durante la fase de ayuno y favorece la glucogenólisis (degradación del glucógeno hepático) y la gluconeogénesis (utilización de aminoácidos para sintetizar la glucosa). Estos mecanismos se activan en presencia de glucagon, liberado por las células alfa de los islotes pancreáticos por efecto de la disminución de las concentraciones séricas de glucosa. En la etapa posprandial, la liberación de insulina

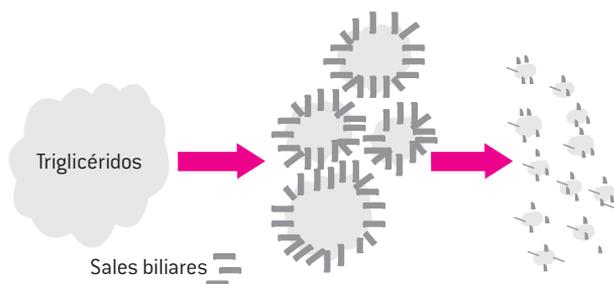


Figura 2-15.

por las células beta del páncreas favorece la captación de glucosa por el hígado, para la síntesis de glucógeno y triglicéridos, de modo que las reservas de energía se almacenen en el hígado (glucógeno) o el tejido adiposo (triglicéridos).

En cuanto al metabolismo de los lípidos, el hígado también tiene la capacidad de actuar como almacén temporal de triglicéridos. Este órgano utiliza ácidos grasos como principal combustible y participa en la síntesis de lipoproteínas para el transporte endógeno de ácidos grasos, triglicéridos y colesterol. Además del colesterol consumido en la dieta, el hígado sintetiza esta sustancia a partir de otros componentes, especialmente ácidos grasos saturados.

Por lo que respecta al metabolismo de las proteínas, el hígado se relaciona con la desaminación de aminoácidos, mecanismo por el cual los esqueletos carbonados de los aminoácidos (cetoácidos) pueden participar en la producción de energía, en la síntesis de glucosa o de ácidos grasos. El grupo amino liberado se utiliza para la síntesis de amonio y urea, desechos tóxicos que deben ser eliminados del organismo a través de la orina.

El hígado también participa en la síntesis de proteínas plasmáticas como la albúmina, las globulinas alfa y beta, la protrombina y el fibrinógeno. Las enfermedades hepáticas suelen presentarse con defectos de coagulación debido a la deficiente producción de proteínas de la cascada de la coagulación, como la protrombina, así como con edema o ascitis (figura 2-17), dada la baja concentración de proteínas plasmáticas, especialmente albúmina, que en condiciones normales ejercen presión oncótica en los líquidos intravasculares. Esta manifestación se observa en la desnutrición proteica conocida como Kwashiorkor y en la cirrosis hepática.

El hígado está relacionado con los procesos de detoxificación de sustancias como el etanol y con la excreción biliar de fármacos (penicilina, eritromicina, sulfonamidas). Además, modifica químicamente y excreta hormonas tiroideas y hormona esteroideas a través de la bilis (estrógenos y aldosterona).

El hígado funciona como almacén de vitaminas A, B<sub>12</sub>, D, E y K y de minerales, como hierro y cobre; con la piel y los riñones, participa en la síntesis de la forma activa de la vitamina D.

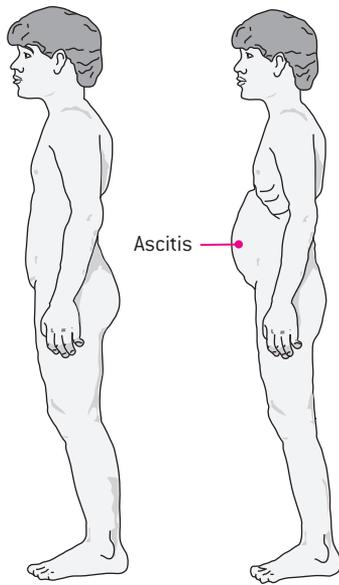


Figura 2-17.

## Intestino delgado

El intestino delgado es la porción más larga del sistema gastrointestinal (mide de 3 a 6 m), y tiene dos funciones principales, **finalizar el proceso de digestión enzimática** (hidrólisis) de los polímeros de los nutrimentos y favorecer el mecanismo de **absorción de la mayor parte de los nutrimentos** de la dieta. Se divide en tres segmentos, duodeno, yeyuno e íleon.

En su porción proximal, el intestino delgado se conecta con el estómago a través del esfínter pilórico (píloro), y con el intestino grueso, en su porción distal, mediante la válvula ileocecal. El duodeno constituye la primera sección y la más corta, del intestino delgado. El término duodeno significa “doce dedos”, es decir, tiene una longitud aproximada de 25 cm. Esta porción del intestino delgado recibe las secreciones pancreáticas y biliares por el conducto pancreático y biliar común. El yeyuno es la segunda sección del intestino delgado; abarca aproximadamente 40% de su extensión, y tiene una longitud promedio de 1 m. El íleon es la tercera y última porción del intestino delgado; en su porción distal, vacía su contenido en el intestino grueso; representa 60% de la superficie intestinal y mide, en promedio, 2 m.

## Proceso de la digestión

El proceso de la digestión implica la hidrólisis o introducción de una molécula de agua entre dos sustancias, con el fin de separarlas.

Las moléculas de agua se ionizan (separan) en un radical  $H^+$  (carga positiva) y uno  $OH^-$  (carga negativa). Cuando una enzima rompe el enlace entre dos moléculas, cada una conserva una carga distinta; la carga positiva tenderá a unirse con el radical  $OH^-$  del agua porque las cargas opuestas se atraen, mientras que el segundo compuesto, con carga nega-

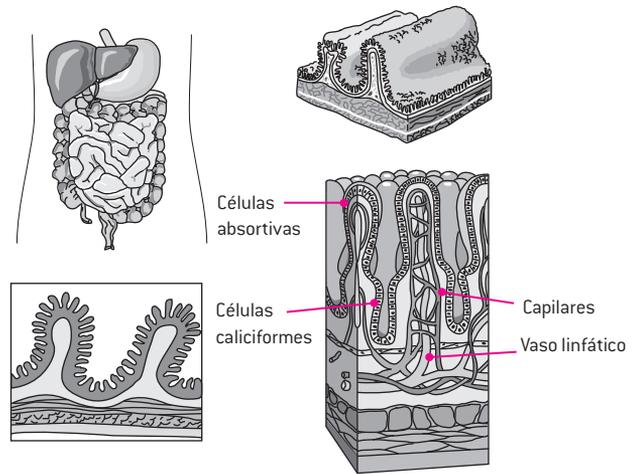


Figura 2-18.

tiva, se unirá al radical  $H^+$  o carga positiva, de tal forma que ambas moléculas quedarán estables y separadas (figura 2-18).

Durante el proceso de la síntesis, ocurre el proceso inverso: las enzimas eliminan un radical  $H^+$  de una molécula y uno  $OH^-$  de la otra, de tal modo que ambas quedan con carga opuesta y tienden a unirse. Por su parte, los radicales  $H^+$  y  $OH^-$  liberados forman una molécula de agua, es decir, tiene lugar un proceso de deshidratación.

Las moléculas de polisacáridos o disacáridos están unidas por enlaces glucosídicos, en los cuales, ambas moléculas comparten un radical oxígeno ( $-O-$ ). Por la hidrólisis enzimática, mediante enzimas amilasas o disacaridasas (lactasa, sacarasa, maltasa), se separan los componentes y cada uno adquiere un radical alcohol ( $-OH$ ) en su estructura (figura 2-19).

Las enzimas que hidrolizan a los hidratos de carbono incluyen la amilasa salival (ptialina) y la pancreática, además de tres enzimas disacaridasas secretadas por el borde intestinal en cepillo, incluida la lactasa, que hidroliza la lactosa en glucosa + galactosa; la maltasa, que hidroliza la maltosa en glucosa + glucosa, y la sacarasa, que hidroliza la sacarosa en glucosa + fructosa. Las vellosidades intestinales solamente pueden absorber monosacáridos (figura 2-20).

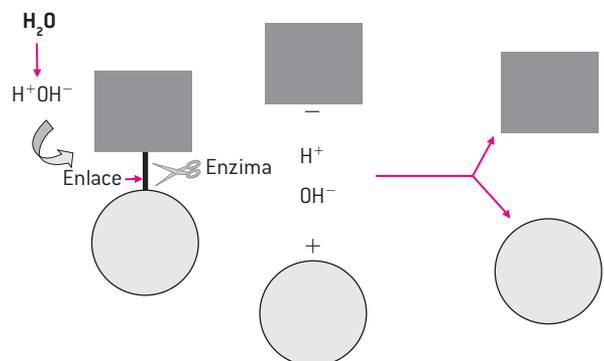
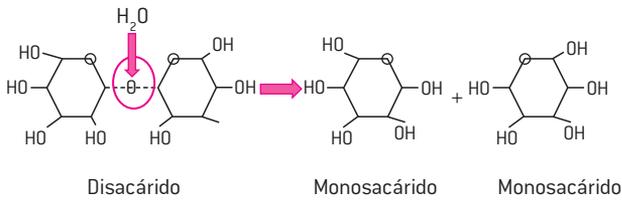


Figura 2-19.



**Figura 2-20.**

La digestión de las proteínas implica dos tipos de procesos, desnaturalización y digestión o hidrólisis. Puede explicarse la desnaturalización como el lazo de una agujeta que se desamarra. En este proceso, la agujeta no se rompe, solamente pierde su “estructura tridimensional” en forma de moño y queda un cordón de forma lineal.

La desnaturalización de las proteínas implica la pérdida de la estructura cuaternaria, la terciaria y la secundaria, las cuales se forman por la interacción de enlaces débiles que se pueden separar mediante métodos físicos, como cambios de temperatura (cocción) o de pH (agregar limón a carnes o pescados crudos). Los procesos de cocción de los alimentos favorecen la desnaturalización de sus proteínas, proceso terminado por el ácido clorhídrico del estómago.

Una vez que la proteína se desnaturaliza, inicia su hidrólisis enzimática. Los aminoácidos están unidos mediante un enlace peptídico (O=C–N–H); la introducción de una molécula de agua mediante una enzima peptidasa separa ambos aminoácidos, liberándose el grupo carboxilo (–COOH) de un aminoácido y el radical amino (–NH<sub>2</sub>) del otro (figura 2-21).

La digestión de proteínas hasta aminoácidos incluye la participación de varias enzimas: la pepsina secretada por las células principales del estómago; las enzimas tripsina, quimotripsina, elastasa, carboxipeptidasa y aminopeptidasa pancreáticas y las aminopeptidasas y dipeptidasas del borde intestinal en cepillo. Cabe recordar que todas las enzimas

proteolíticas son liberadas en forma inactiva por las células que las producen (figura 2-22).

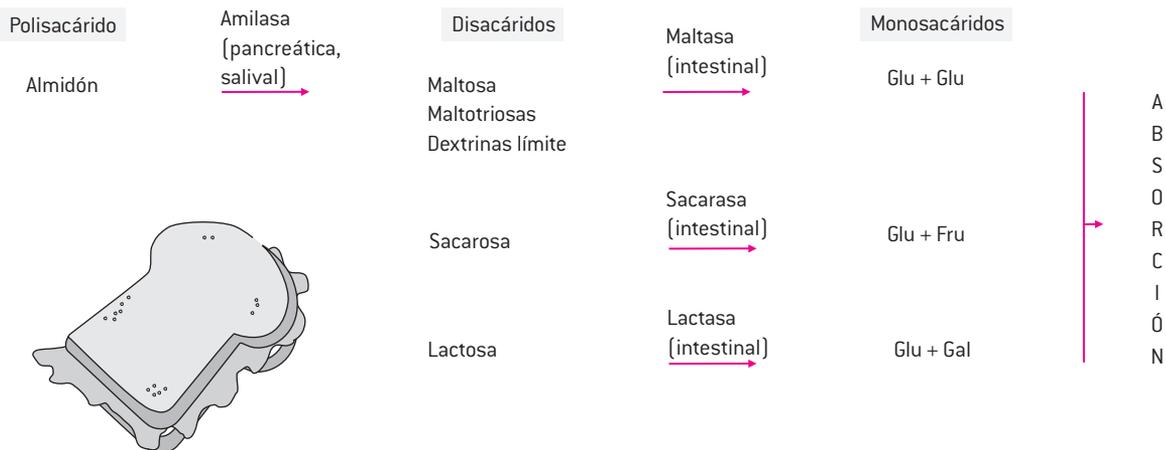
El pepsinógeno (producido por las células principales de las criptas gástricas) se activa en pepsina en la luz del estómago una vez que entra en contacto con el ácido clorhídrico, mientras que el tripsinógeno (producido en el páncreas) se activa en tripsina, cuando entra en contacto con la enterocinasa (enzima secretada por las células del borde intestinal en cepillo). La tripsina se encarga de activar el resto de los zimógenos pancreáticos. Además, se secretan enzimas nucleosidasas y fosfatasa que facilitan la digestión de los nucleótidos presentes del núcleo de las células de los alimentos.

Por su parte, los triglicéridos están formados por tres ácidos grasos unidos a una molécula de glicerol mediante un enlace de tipo éster (–C–O–C–). Su hidrólisis con una molécula de agua permite separar un ácido graso de la estructura del glicerol, y cada uno adquiere un radical hidroxilo (–OH) en su extremo (figura 2-23).

La digestión de los lípidos requiere la participación de enzimas lipasas, salival, gástrica y pancreática, y de bilis en la luz del duodeno, la cual permite emulsificar los lípidos en forma de pequeñas gotas de grasa, con el fin de que las lipasas puedan hidrolizar los enlaces de las posiciones 1 y 3 de los triglicéridos (figura 2-24).

## Proceso de absorción intestinal

La superficie lineal del intestino delgado es de aproximadamente medio metro cuadrado, pero su superficie real de absorción asciende a 250 m<sup>2</sup> (el tamaño de una cancha de tenis), diferencia que se debe a las vellosidades y microvellosidades intestinales. Las vellosidades intestinales son proyecciones de 0.5 a 1 mm de alto, incrementan el área de superficie epitelial para absorción y digestión, confieren a la mucosa un aspecto aterciopelado y están cubiertas de células intestinales (enterocitos) maduras que facilitan el proceso de absorción (figura 2-25).



**Figura 2-21.** Digestión de polisacáridos.

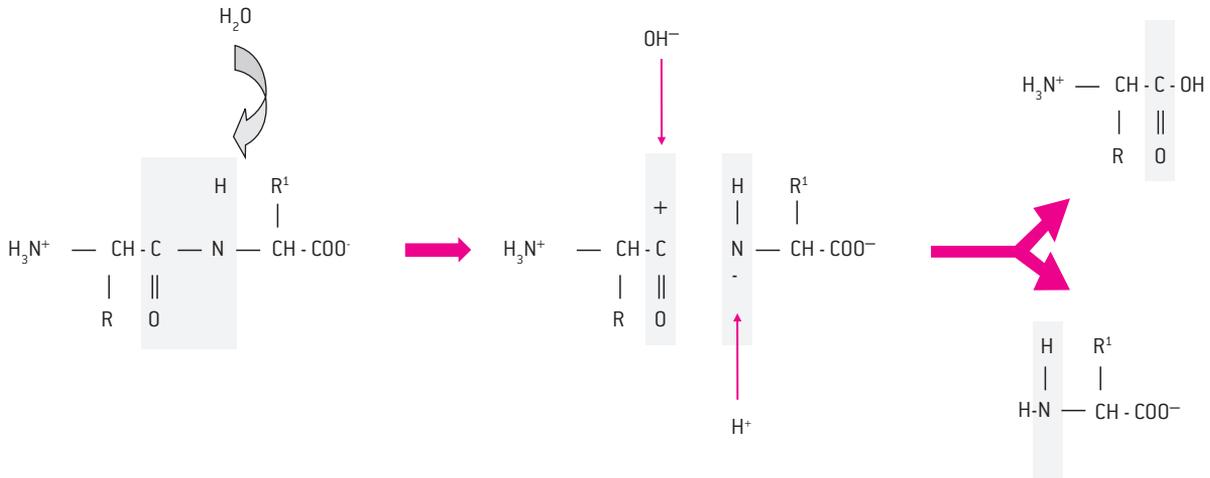


Figura 2-22. Digestión de proteínas.

Por otra parte, el intestino delgado presenta células caliciformes productoras de moco. Las células de las criptas de Lieberkühn secretan el jugo intestinal, líquido amarillo transparente que contiene agua y moco, cuyo pH es 7.6, que aunado a los jugos pancreáticos, favorece la absorción en las microvellosidades. La secreción de jugo intestinal es de 1 a 2 L diarios.

Las vellosidades intestinales semejan una colina junto a una cañada (figura 2-26); las que están en la colina (superficie de la luz intestinal) tienen capacidad para absorber los nutrimentos; cada vellosidad tiene una arteriola, una vena y un capilar linfático para el proceso de transporte de los nutrimentos absorbidos. En la parte profunda de las “cañadas” o criptas se concentran las células S, que sintetizan secretina; las células CCC, que liberan colecistocinina, y las células K, productoras de un péptido insulínico dependiente de glucosa. Las células de Paneth ocupan la parte más profunda de las criptas; secretan lisozima (enzima bactericida), fago-

citán y ayudan a mantener la población microbiana intestinal. El íleon cuenta con numerosas placas de Peyer, las cuales confieren protección inmunológica al intestino.

El sistema gastrointestinal se conecta con el hígado a través de ramificaciones de la vena porta. Una vez que los nutrimentos son absorbidos en las células del intestino, viajan por dicha vía al hígado, que se encarga de almacenar o liberar los nutrimentos en la circulación general, según las necesidades del organismo y el ambiente hormonal prevaeciente (figura 2-27).

En las células intestinales, el proceso de absorción depende del tipo de sustancia; los lípidos se absorben por difusión pasiva o facilitada a través de la bicapa lipídica de la cara apical de las membranas celulares (dicha cara es como la fachada de una casa). Los nutrimentos hidrosolubles, como monosacáridos, aminoácidos y vitaminas hidrosolubles, se absorben a través de transportadores especializados que se encuentran en la cara apical de las células absorbivas (figura 2-28).

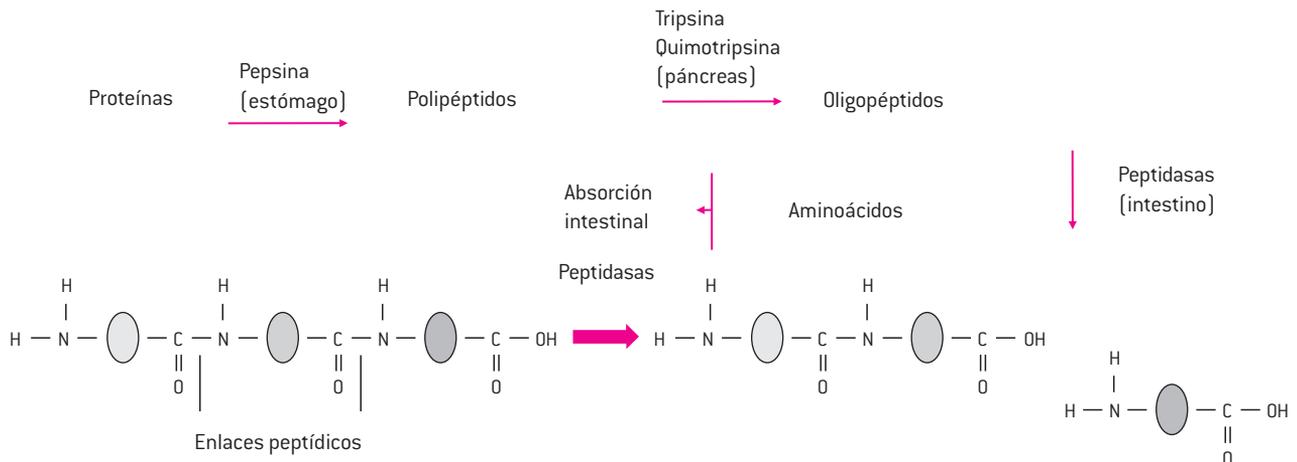


Figura 2-23.

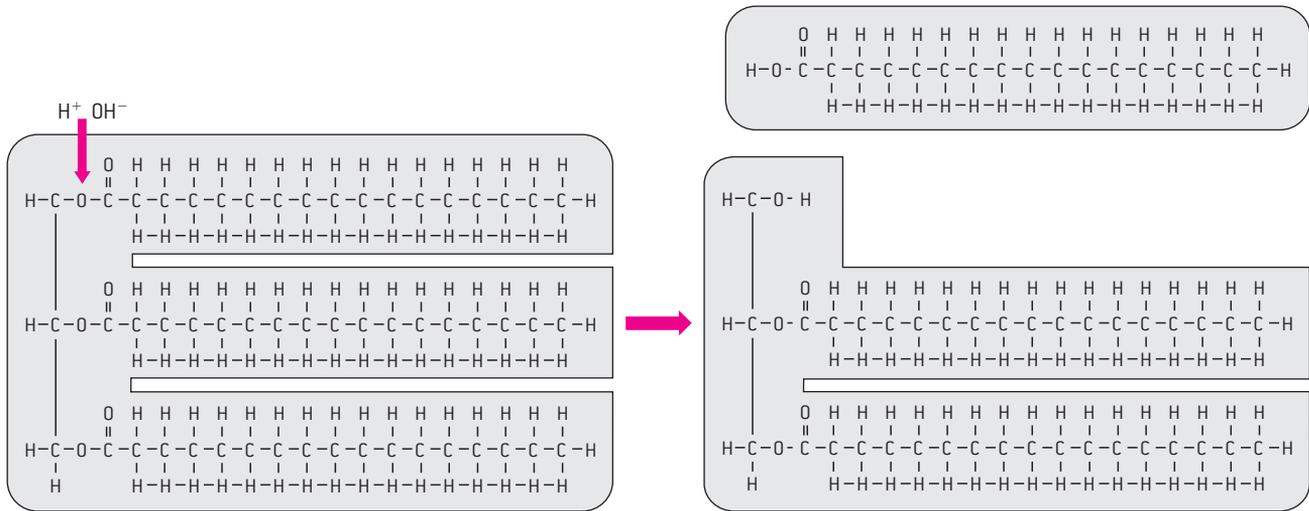


Figura 2-24. Digestión de lípidos.

Una vez que los nutrientes hidrosolubles cruzan la cara apical, son transportados hacia las paredes basolaterales (baldas laterales y barda trasera de una casa), de donde salen mediante sistemas de transporte hacia el espacio intersticial, y de ahí, entran a las ramificaciones de la vena porta (figura 2-29).

Los lípidos (ácidos grasos libres, 2-monoglicérido, colesterol libre) recién absorbidos son transportados hacia el retículo endoplásmico liso, donde se reesterifican en triglicéridos y colesterol esterificado; después pasan al aparato de Golgi, donde se combinan con otros componentes, como

fosfolípidos y proteínas, para sintetizar un quilomicrón (figura 2-30), que es la partícula de transporte de los lípidos que utiliza una vía distinta a la de los nutrientes hidrosolubles, pues al salir al espacio intersticial, penetra en los vasos linfáticos de las vellosidades para viajar por la linfa.

Los hidratos de carbono se absorben principalmente en el duodeno y el yeyuno. La capacidad de absorción intestinal equivale a 120 g/h, y se absorbe de 99 a 100% de los monosacáridos digeridos, de modo que en las heces solamente aparecen fibras y celulosa no digeribles (figura 2-31).

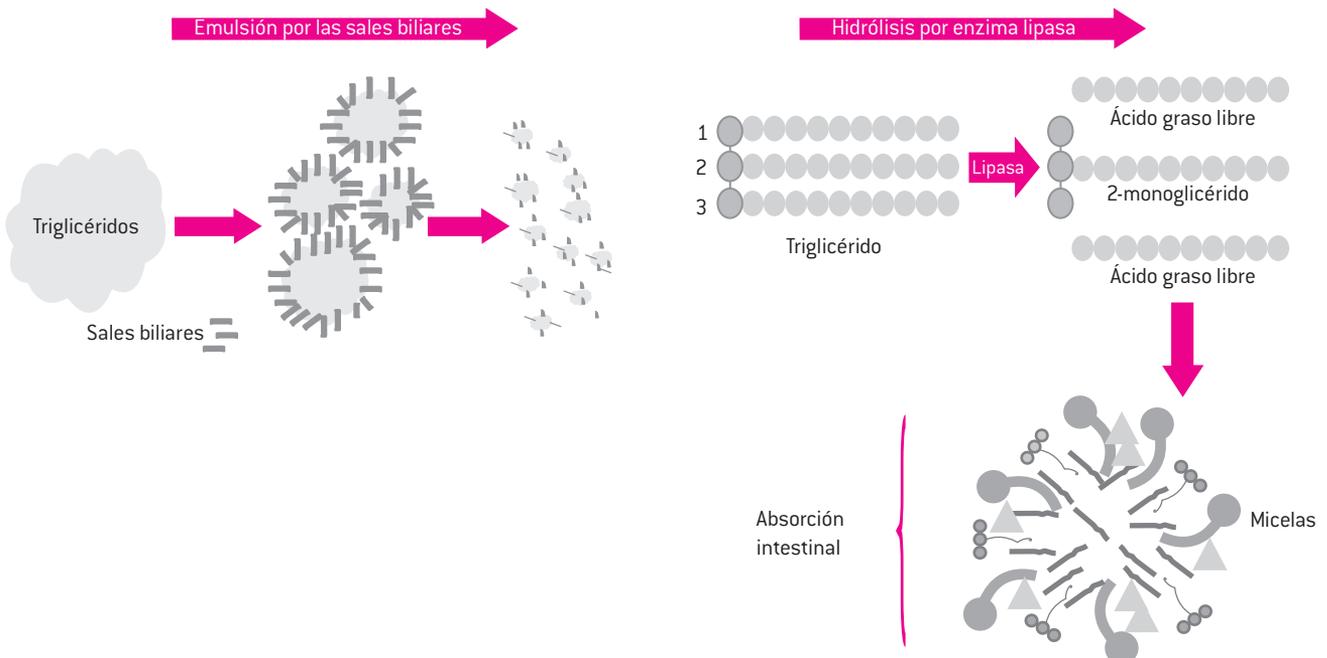
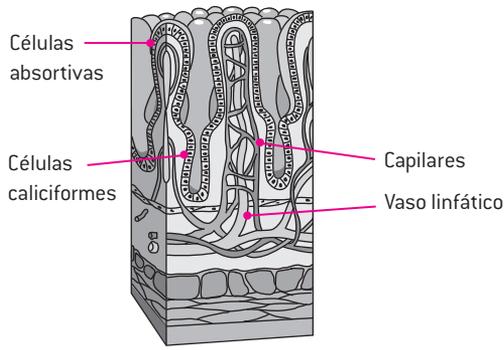
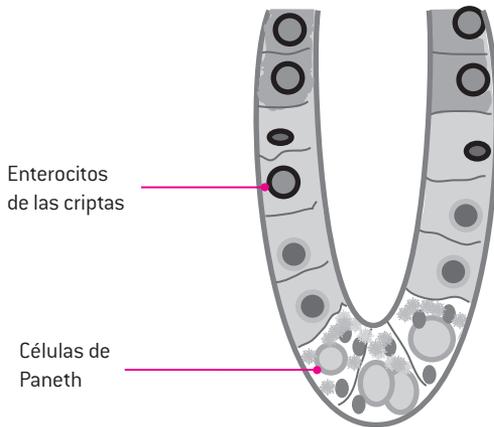


Figura 2-25.



A



B

Figura 2-26.

Los aminoácidos se absorben en la luz intestinal, por transporte activo en el duodeno y yeyuno, por uno de cuatro sistemas de transporte dependientes del sodio: uno para aminoácidos ácidos, otro para aminoácidos básicos, un tercero para aminoácidos neutros cortos y el último, para aminoácidos neutros largos; se absorbe de 95 a 98% de los aminoácidos presentes en la luz intestinal.

Cerca de 95% de los lípidos que llegan al intestino se absorbe mediante difusión simple. Los recién nacidos absorben sólo 85% por la baja producción de bilis. Los ácidos grasos de cadena corta con menos de 12 carbonos son susceptibles de viajar por la vena porta hacia el hígado, unidos a la albúmina. Los ácidos grasos de cadenas mayores viajan por la vía linfática a través de quilomicrones.

El volumen total de líquidos que llega al intestino equivale aproximadamente a 9.3 L, de los cuales, 2.3 L corresponden a los consumidos en la dieta y el resto, a secreciones gastrointestinales:

- Saliva, 1 L
- Jugos gástricos, 2 L
- Bilis, 1 L
- Jugo pancreático, 2 L
- Jugo intestinal, 1 L

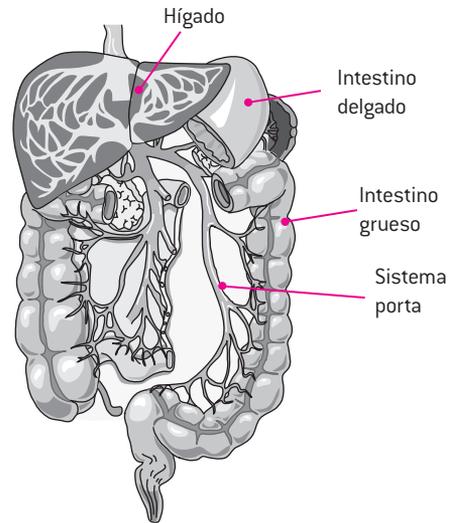


Figura 2-27.

De esta cantidad, el intestino delgado absorbe 8.3 L, y el grueso, 900 ml, de modo que en las heces, la cantidad de agua eliminada es de sólo 100 ml (figura 2-32).

El agua se absorbe por ósmosis de la luz intestinal a los capilares con los electrolitos (sodio, potasio), monosacáridos y aminoácidos a través de las células epiteliales, y tiene la capacidad de cruzar en ambas direcciones.

## Regulación endocrina

Las hormonas colecistocinina y secretina se sintetizan en las células de las criptas del intestino delgado y son liberadas hacia el estómago, donde actúan para demorar el proceso de vaciamiento gástrico en la fase intestinal de la digestión. Al llegar al páncreas, la colecistocinina favorece el incremento de la secreción de jugos pancreáticos ricos en enzimas digestivas, mientras que la secretina propicia la salida de jugos pancreáticos ricos en bicarbonatos. Además, ambas hormo-

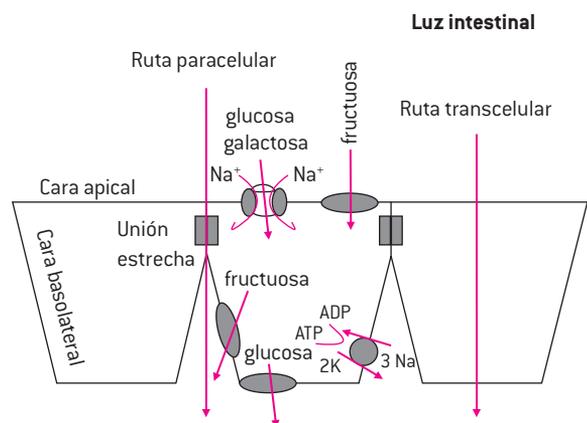
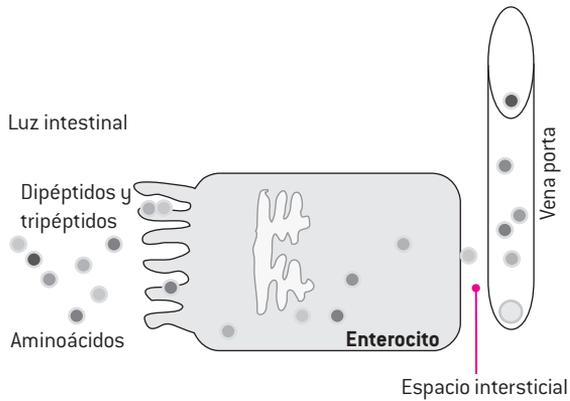


Figura 2-28.



**Figura 2-29.**

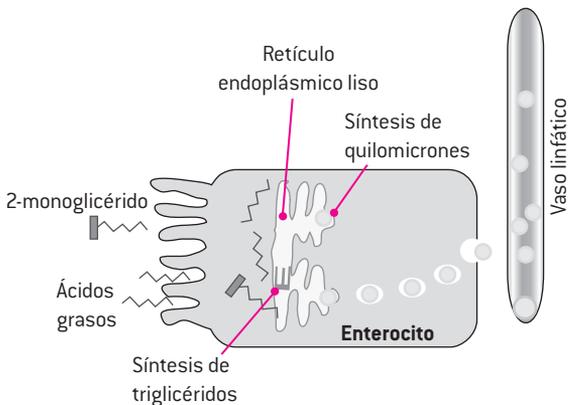
nas influyen en la vesícula biliar, la primera para facilitar la liberación de bilis enriquecida con sales biliares y fomentar el proceso de emulsión de los lípidos en el duodeno, en tanto que la secretina favorece la secreción de bilis con mayor contenido de bicarbonatos para elevar el pH del quimo ácido que llega del estómago al duodeno (figura 2-33).

## Intestino grueso

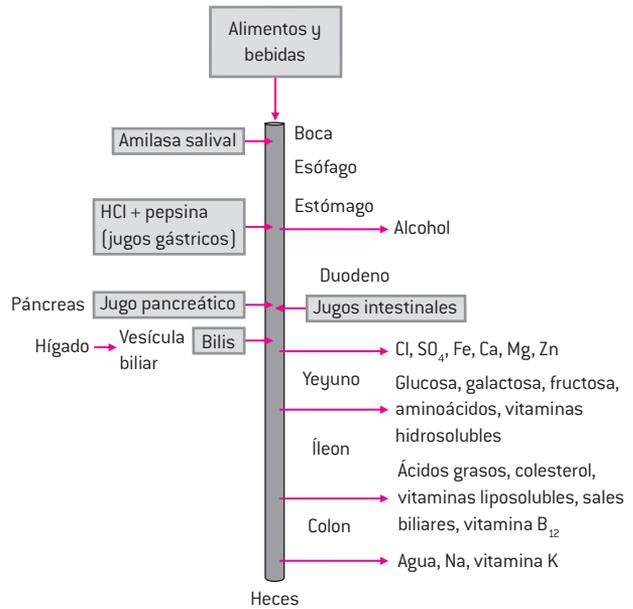
Se localiza en la porción distal del sistema gastrointestinal, entre el íleon (válvula ileocecal) y el ano. Mide 1.5 m de longitud y 6.5 cm de diámetro, y se divide en cuatro porciones: ciego, colon, recto y conducto anal.

El ciego consiste en un “saco” de 6 cm de longitud, cerrado en su extremo distal, que incluye al apéndice, conducto contorneado de 8 cm de longitud (figura 2-34).

El colon ocupa la superficie mayor del intestino grueso, y se divide, a su vez, en ascendente, transverso, descendente y sigmoides. El recto es una sección corta (20 cm), en el extremo final del intestino grueso, que se conecta con el canal anal. El ano presenta un esfínter interno de músculo liso (involuntario) y otro externo de músculo esquelético (volunta-



**Figura 2-30.**



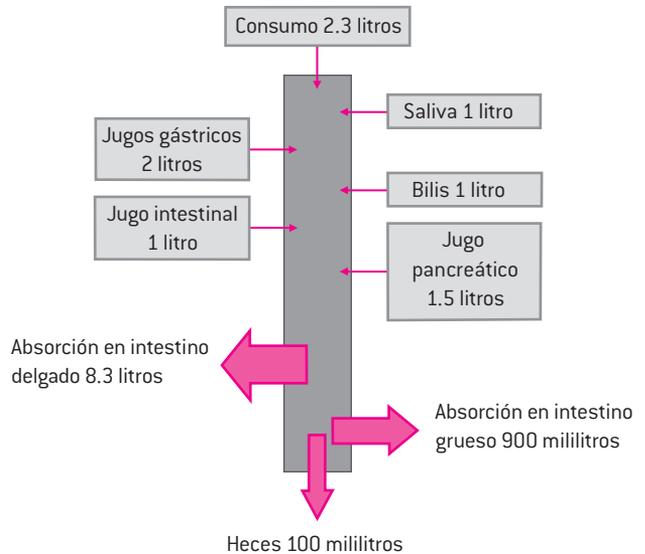
**Figura 2-31.**

rio), que en condiciones normales se mantiene cerrado, pero se abre para la eliminación de las heces.

El intestino grueso no presenta vellosidades. Sus células se dedican principalmente a la absorción de agua; tiene también células caliciformes productoras de moco.

Las principales funciones del intestino grueso incluyen:

1. Absorción de agua y electrolitos de los alimentos y bebidas consumidos: aproximadamente un litro.
2. Formación y almacenamiento de las heces fecales. La materia fecal se deshidrata y se mezcla con bacterias y moco.



**Figura 2-32.**

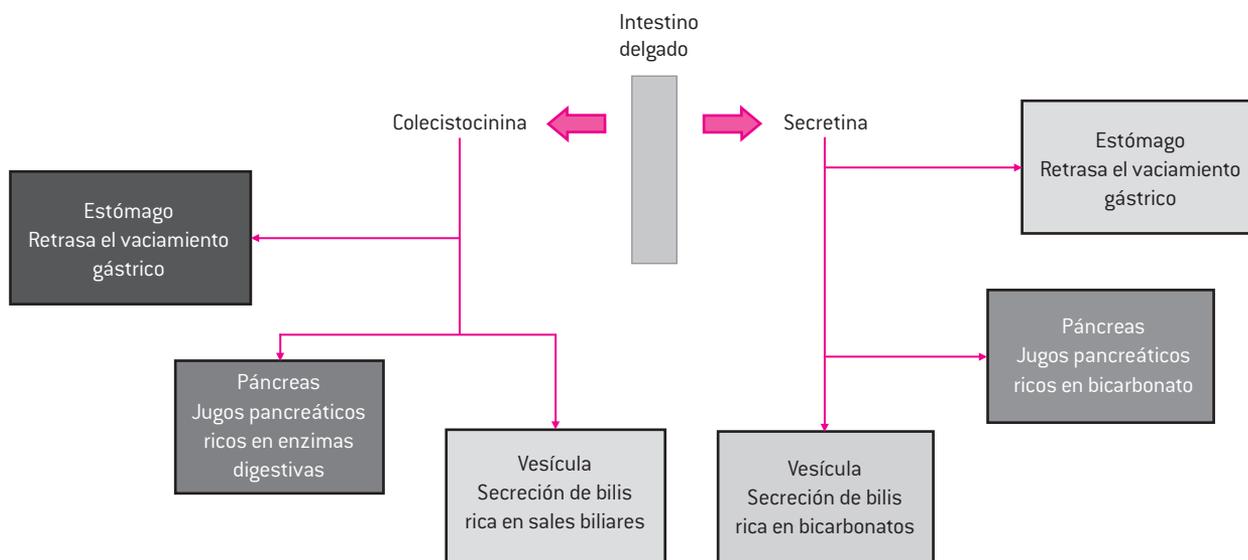


Figura 2-33.

3. Fermentación microbiana: los microorganismos intestinales son susceptibles de digerir algunos restos de alimentos, como la hemicelulosa y las fibras solubles, y liberar hidrógeno ( $H_2$ ), bióxido de carbono ( $CO_2$ ) y metano, relacionados con la formación de los flatos (gases) liberados por el ano.

El intestino grueso tiene capacidad para absorber agua, iones de sodio, iones de cloro y algunas vitaminas, además de que secreta iones de bicarbonato que neutralizan la acidez generada por la fermentación de la flora microbiana, y moco, que actúa como lubricante para proteger el epitelio y que se une al material fecal. En condiciones normales, las heces contienen 75% de agua y 25% de sólidos, los cuales incluyen bacterias y materia orgánica indigerible, además de fibra. El color café característico de las heces se debe a la producción de estercobilina y urobilina, derivados de la fermentación microbiana de la bilirrubina. El olor fecal se debe a los gases

producidos por el metabolismo microbiano (escatol, mercaptanos y sulfuro de hidrógeno).

Los movimientos peristálticos en masa producidos en el intestino grueso empujan las heces hacia el recto para iniciar la defecación. Posteriormente, la distensión del recto propicia el reflejo voluntario de la defecación. El intestino grueso no produce enzimas, utiliza las enzimas bacterianas de la flora para digerir, sintetizar y aprovechar muchos sustratos, incluidos los siguientes:

1. Digestión de hidratos de carbono no digeridos en el intestino delgado.
2. Síntesis de vitamina K y algunas vitaminas del complejo B, como la cianocobalamina o  $B_{12}$ .
3. Producción de gases intestinales volátiles (propiónico, butírico, acético), que pueden absorberse por difusión en el colon. Estos gases se eliminan por el ano en forma de flatos. Nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, bióxido de carbono y metano constituyen el 99% de los gases intestinales, que son inodoros. El olor de los flatos se debe a la presencia de otros gases, como sulfuro de hidrógeno, escatoles e indoles. Dependiendo de la dieta, la producción diaria de gases fluctúa entre 200 y 2 000 ml.

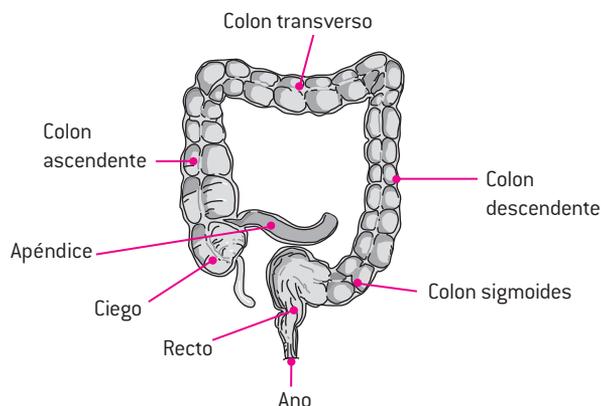


Figura 2-34.

## Probióticos y prebióticos

Los probióticos son microorganismos vivos que al consumirse ejercen efectos benéficos en la salud, más allá de sus propiedades nutritivas. Al consumir los alimentos probióticos, deben tener cantidades elevadas de bacterias probióticas en forma de células vivas. A diferencia de otras especies de microorganismos, las bacterias ácido lácticas tienen la capacidad para sobrevivir en el sistema gastrointestinal. El consu-

mo regular aumenta la concentración de bacterias beneficiosas para la salud, como los lactobacilos y las bifidobacterias de las heces, además de reducir las bacterias nocivas, como clostridios y enterococos. Entre los mecanismos utilizados por los lactobacilos para evitar la colonización de bacterias patógenas se incluyen: acidificación de la luz intestinal por la síntesis de ácidos grasos de cadena corta; liberación de sustancias antibióticas; competencia por los nutrientes disponibles en el colon entre las diferentes cepas bacterianas, e inhibición de la capacidad de adhesión de bacterias patógenas, para evitar la invasión. Algunas cepas de probióticos suelen aumentar la secreción de moco para antagonizar los efectos de especies bacterianas que afectan la integridad de las barreras de defensa del intestino. En ciertos estudios se ha demostrado que el consumo de bifidobacterias y lactobacilos podría favorecer la remisión parcial de la inflamación de la mucosa del colon (colitis) y reducir la respuesta inflamatoria que se observa en las enfermedades del colon.

Los prebióticos se definen como ingredientes no digeribles de los alimentos que estimulan de forma selectiva el crecimiento de bacterias benéficas para el intestino. Los prebióticos son generalmente hidratos de carbono de cadena corta (forman parte de la fibra dietaria) que pueden fermentarse a lo largo del sistema gastrointestinal y estimular el crecimiento de bifidobacterias. Se ha demostrado, por ejemplo, que la inulina y los fructooligosacáridos incrementan el recuento de bifidobacterias y lactobacilos en las heces. Incluyéndolos en la dieta se puede prevenir o evitar la translocación bacteriana, que es el paso de gérmenes de origen gastrointestinal hacia tejidos como ganglios mesentéricos, hígado, bazo o pulmones, que pone en riesgo al sistema inmunológico del individuo que lo padece. Los prebióticos son utilizados en las vías metabólicas anaerobias de bifidobacterias y lactobacilos, de modo que aumenta la producción de ácidos grasos de cadena corta como acetato, butirato y propionato. Estos ácidos grasos, producidos por las bacterias, son utilizados como energía por las células intestinales y estimulan la absorción de agua y sales en el colon.

## Defectos del peristaltismo intestinal: estreñimiento

El estreñimiento es una dolencia en la cual el proceso de defecación es poco frecuente o difícil, como resultado de una menor motilidad intestinal. Las heces permanecen durante más tiempo en el intestino grueso, por lo que se absorbe más agua, además de que se resecan y endurecen, y se dificulta el proceso de evacuación intestinal. Las causas más comunes de estreñimiento incluyen deficiencia de líquidos o fibra en la dieta, malos hábitos de defecación, falta de ejercicio, estrés emocional y consumo de ciertos medicamentos.

Una vez conocidas las funciones de ingestión, digestión y absorción de nutrientes en el sistema gastrointestinal, revisaremos en los próximos capítulos la vía metabólica que siguen los nutrientes en el interior del organismo y el recorrido por diferentes aparatos y sistemas, como el circulatorio, el renal, el pulmonar y el musculoesquelético, además de su función en el tejido adiposo y el transporte de lípidos en la sangre (figura 2-35).

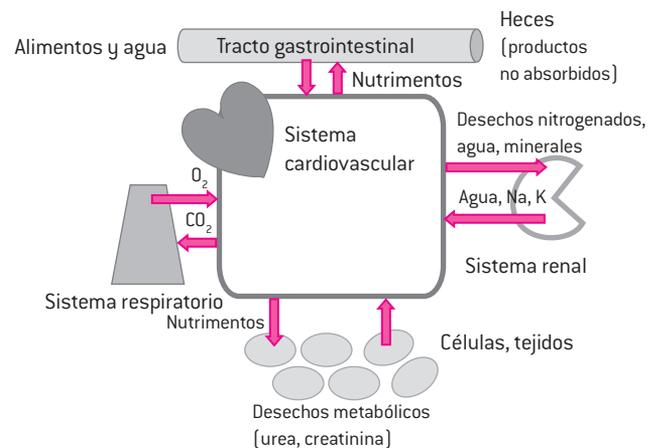


Figura 2-35. Intercambio de nutrientes.

## Casos prácticos

- El síndrome de Sjögren es una enfermedad autoinmunitaria caracterizada por una menor producción de las glándulas de secreción exocrina, de modo que afecta la producción de saliva. Analice el tipo de trastornos orales y digestivos que son de esperar en los pacientes afectados.
- Algunos de los medicamentos para el tratamiento de la gastritis y la úlcera gástrica bloquean la acción

de las hormonas relacionadas con la liberación de ácido clorhídrico en el estómago. Mencione sobre qué hormonas deberían actuar estos medicamentos. Revise el mecanismo de acción del omeprazol y verifique si su respuesta es correcta.

- Quienes padecen aclorhidria (disminución grave de la producción de ácido clorhídrico) sufren de anemia megaloblástica. ¿Cuál puede ser la causa?