

Unidad VI

Nutrición animal. Estrategias de alimentación. Requerimientos nutricionales. Estructura y función del sistema digestivo humano. Ingestión. Digestión. Absorción. Mecanismos. Motilidad del sistema digestivo. Actividad enzimática. Glándulas anexas: salivales, hígado y páncreas. Variaciones del sistema digestivo en mamíferos. Rumiación. Coprofagia.



<http://174.122.174.195/~alianxa/>

Los organismos vivos dependen de fuentes externas de materias primas y de energía, que precisan para su crecimiento, mantenimiento y funcionamiento. El alimento se emplea para proporcionar materiales para la formación de nuevos tejidos y la reparación de los ya existentes y se utiliza como fuente de energía, obteniéndose a partir de distintas fuentes, vegetales, animales y minerales.

La energía, en última instancia, proviene del sol, pero ésta solo es aprovechable por los organismos autótrofos que sintetizan compuestos de carbono a partir de CO₂ y H₂O. Estos compuestos actúan como depósitos de energía química, que puede liberarse y utilizarse mediante reacciones acopladas en los tejidos vivos.

Así, como todos los animales son heterótrofos, consiguen los compuestos carbonados, energéticos a partir de los alientos ingeridos que, en definitiva proceden de los organismos autótrofos.

En una cadena alimenticia, en cada paso de la conversión, de un nivel trófico a otro, hay una pérdida de material utilizable y de energía libre. El grano que produce 1 Ha de trigo contiene más materia y energía, directamente disponible para el consumo humano, que si se emplea como alimento de ganado, para ser convertido en carne. Una Ha de cereales produce 5 veces más proteína que una Ha dedicada a producir forraje para la producción de carne. Para producir ½ k de proteínas para consumo humano, una vaca debe consumir más de 9 k de proteínas.

En consecuencia, en igualdad de condiciones, una cadena alimenticia más corta conserva más cantidad de la energía capturada por fotosíntesis. Así la función del sistema digestivo es proporcionar al organismo agua, electrolitos y sustancias nutritivas; para lo cual deben ser transportadas, digeridas y absorbidas.

1. ESTRATEGIAS DE ALIMENTACIÓN

La obtención de nutrientes es, lógicamente, importante para todos los animales y gran parte de su actividad está dirigida a este fin. Los animales utilizan distintas estrategias de alimentación; algunos cazan, capturan y matan. Otros que no son capaces de moverse, recurren a sistemas como la absorción por superficie, la filtración o la caza por trampas.

Filtración: Los medios acuáticos tienen diversos grupos de filtradores, la mayoría de los cuales depende de corrientes de agua que llevan organismos pequeños, que son capturados mediante diferentes sistemas. Esponjas, braquiópodos, lamelibranquios, tunicados, son ejemplos de estos organismos, en general pequeños y sésiles. En general el mucus (mezcla pegajosa de mucopolisacáridos) que recubre al epitelio ciliado, transporta por el movimiento ciliar, los alimentos hacia la región oral.

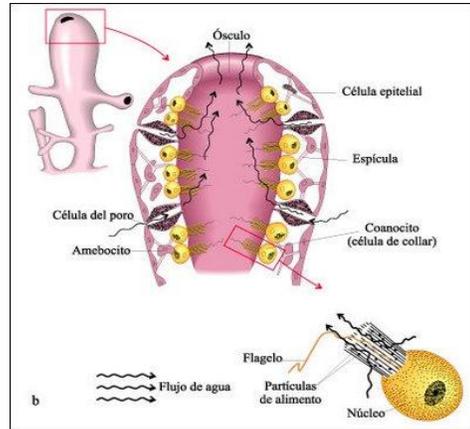
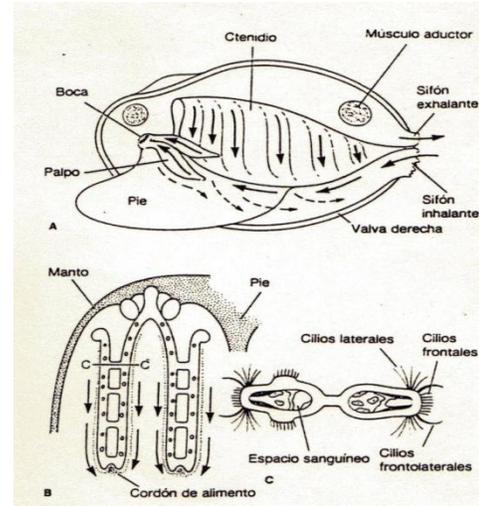


Fig. 1: Filtradores. Poríferos (arriba), Bivalvos (derecha).

El Mejillón (*Mytilus edulis*) tiene cilios que crean una corriente de agua a través del sifón inhalante, pasando el agua por los filamentos branquiales. Los cilios frontales son los responsables de mantener el movimiento del mucus hasta la punta de la branquia, desde donde irá hacia la boca, en forma de un cordón filamentososo de mucus, por un surco especial.



Las Ballenas son el mayor filtrador que existe. En las mandíbulas superiores tienen barbas corneas que actúan como flecos de queratina, que cuelgan entre ambas mandíbulas y actúan como cedazo. El animal nada tragando grandes cantidades de agua con krill (pequeños crustáceos pelágicos en suspensión). Al cerrar las mandíbulas comprimen el agua a través de las barbas con ayuda de la lengua.

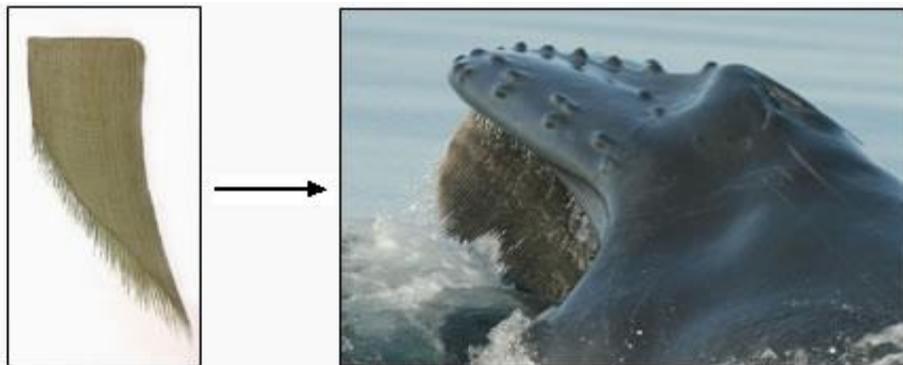


Fig. 2: Filtradores. Ballena.

El Flamenco (*Phoenicopterus*) utiliza un dispositivo similar para filtrar las presas que se hallan en los fondos fangosos. En este sentido el flamenco presenta notable convergencia con la ballena, ambos tienen una mandíbula alta, un rostro curvado, filtros de flecos fibrosos que cuelgan de la mandíbula superior y una lengua carnosa.

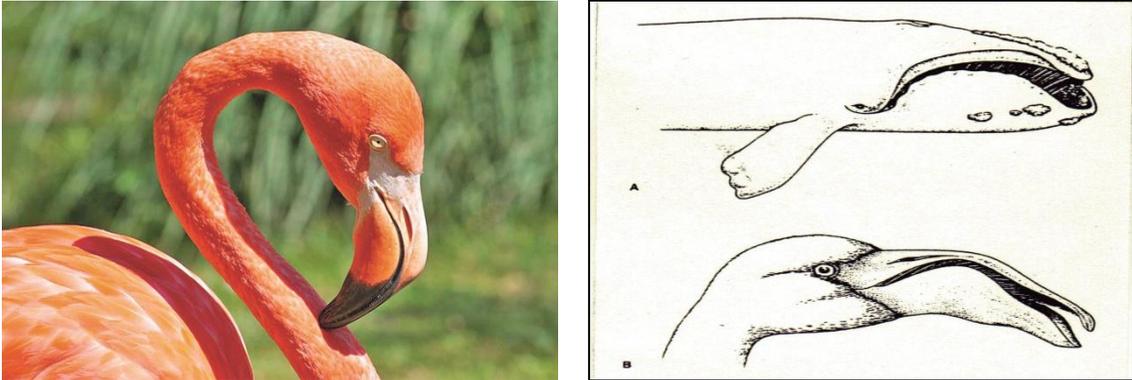


Fig. 3: Filtradores. Flamenco (izq). Rostro de Ballena y Flamenco.

Succión: La alimentación por picadura y succión se da entre los platelmintos, nematodos, anélidos y artrópodos. La sanguijuela (anélido) es un verdadero chupador de sangre que emplea un anticoagulante para prevenir que la sangre se coagule al salir de los vasos sanguíneos, que rompen con sus mandíbulas raspadoras. Una gran variedad de artrópodos se alimenta picando y chupando: mosquitos, chinches y piojos. En general poseen las piezas bucales transformadas para la succión. La saliva también contiene anticoagulantes y enzimas.

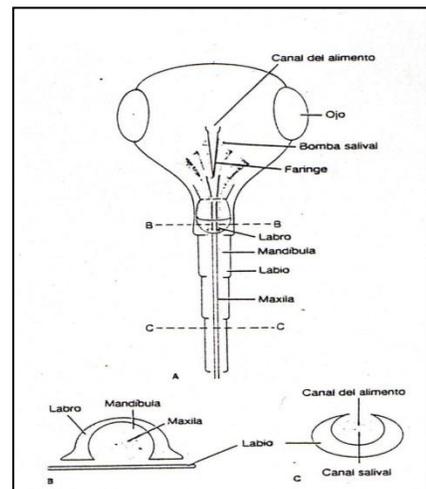


Fig. 4: Picadores. Chupadores. Mosquito (abajo), sanguijuela (derecha arriba)

Picos: Las aves no tienen dientes pero en su lugar tienen picos corneos, que son muy característicos en función de su alimentación. Por ej. Pueden tener bordes finamente aserrados, o la parte superior ganchuda y afilada, o puntas afiladas para taladrar madera. Pueden servir como garra (rapaces), para buscar insectos en orificios pequeños (insectívoros), fuertes para romper granos (granívoros), etc.



Fig. 5: Picos

Dientes: En los animales no mamíferos, en general los dientes se diferencian muy poco unos de otros. Los mamíferos hacen uso de sus dientes para matar a la presa, cortarla y triturarla, por esto se han desarrollado formas muy variadas de dientes. *Incisivos:* son como cinceles, se emplean para cortar, son especialmente usados por los roedores y lagomorfos para roer. *Caninos:* son como cuchillos puntiagudos, los usan los animales carnívoros, insectívoros y primates para agujerear y desgarrar. En algunos grupos, como jabalíes y pinípedos se alargan en forma de colmillos que emplean como palanca o arma. *Muelas:* en los animales

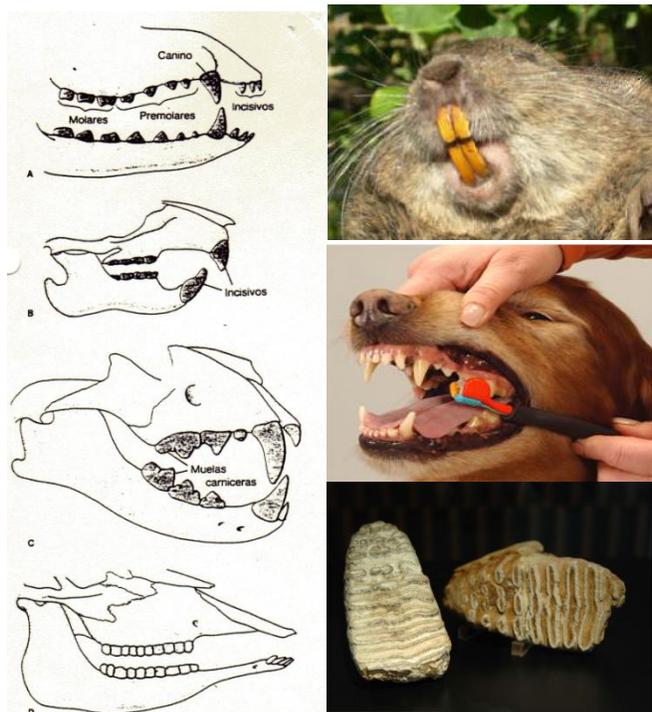


Fig. 6: Dientes

carnívoros son las muelas carniceras que actúan como tijeras para cortar la carne y tragarla. En algunos herbívoros como los Artiodactilos (vacas, cerdos, hipopotamos), Perisodáctilos (caballos y cebras) y Proboscídeos, se emplean con un movimiento lateral de trituración. Se componen de capas delgadas de esmalte, cemento y dentina; las cuales se diferencian en cuanto a dureza y velocidad de desgaste. Como la dentina es más blanda se desgasta rápidamente y el esmalte y el cemento más duros forman crestas que elevan la eficacia de los molares en la masticación.

2. REQUERIMIENTO NUTRITIVOS

Los nutrientes son las sustancias que sirven como fuente de energía metabólica, de materias primas para el crecimiento o la reparación de los tejidos y para el mantenimiento general de las funciones corporales. Los animales tienen necesidades nutricionales concretas muy diferentes y estas varían según su especie, su tamaño, su actividad, sexo, edad y estado sexual.

El balance energético requiere que la entrada calórica en un período dado iguale a las calorías consumidas en el mantenimiento y reparación de los tejidos, en el trabajo y en la producción de calor corporal (en aves y mamíferos). Una entrada insuficiente se traducirá en pérdida de peso corporal por la utilización de carbohidratos, grasas y proteínas de los tejidos. Por el contrario, una captación excesiva provocará un aumento en los depósitos de grasas corporales.

Agua: de todos los constituyentes del tejido animal, ninguno es tan importante como el agua. Constituye un 70-95% del peso de los tejidos animales. Algunos animales (marinos y del desierto) dependen totalmente del agua metabólica para cubrir sus necesidades.

Carbohidratos: se emplean principalmente como fuente de energía química inmediata (respiración celular) o almacenada (glucógeno), pero ambos también pueden convertirse en metabolitos intermediarios o grasas. El proceso inverso también puede ocurrir. Las principales fuentes de carbohidratos son los azúcares, almidones, celulosa y glucógeno.

Proteínas: se emplean como componentes estructurales de las membranas y los tejidos, como enzimas, hormonas. En última instancia pueden utilizarse como fuente de energía. En los animales están formadas por 20 aminoácidos diferentes. Los aminoácidos que el animal no puede sintetizar serán los llamados aminoácidos esenciales.

Grasas: son especialmente adecuadas como reservas energéticas concentradas, cada gramo de grasa proporciona más del doble de energía calórica que 1 gramo de proteína o

de carbohidrato. Además no se hallan disueltos en agua, por ello pueden almacenar más energía química por unidad de volumen de tejido. Los animales almacenan grasa para los momentos de déficit calórico, cuando el gasto de energía excede su incorporación. Las grasas son importantes como componentes de la membrana celular y otros orgánulos con membranas y en la vaina de mielina de los axones. Las moléculas de grasa incluyen ácidos grasos, monoglicéridos, triglicéridos, esteroides y fosfolípidos.

Minerales: Algunas sales como Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} y CO_3^{2-} de los metales Ca^{++} , K^+ , Na^+ y Mg^{++} , son importantes constituyentes de los líquidos intra y extracelulares. El Fe, el Cu y otros metales se requieren para reacciones de óxido-reducción y en el transporte y la unión con el O_2 . Muchas enzimas precisan ciertos átomos de metal cristalino que le da dureza y rigidez a los huesos de vertebrados y las conchas de moluscos. Los elementos considerados esenciales en seres humanos, se llaman oligoelementos y se encuentran en un 0,05% a 1%; hay elementos que sólo son esenciales en unos determinados seres vivos. Cada elemento tiene un rango óptimo de concentraciones dentro de los cuales el organismo, en esas condiciones, funciona adecuadamente; dependiendo del elemento este rango puede ser más o menos amplio. El organismo deja de funcionar adecuadamente tanto por presentar deficiencia como por presentar un exceso en uno de estos elementos.

Tabla. Oligoelementos esenciales y su función

Elemento	Dosis diaria recomendada	Descripción	Categoría	Dolencia por insuficiencia	Exceso
Potasio K	4700 mg	Esencial	Es un electrolito sistémico y esencial en la regulación del ATP, con el sodio.	hipotalasemia	Hiperpotasemia
Cloro Cl	2300 mg	Esencial	Es necesario para la producción del ClH en el estómago y también se requiere en algunas funciones celulares..	hipocloremia	Hipercloremia
Sodio Na	1500 mg	Esencial	Es necesario en la regulación del ATP con el potasio.	hiponatremia	Hipernatremia
Calcio Ca	1300 mg	Esencial	Es necesario para la contracción muscular, para el corazón, ap. Digestivo, formación de huesos y generación de nuevas células de sangre..	hipocalcemia	Hipercalcemia
Fosforo P	700 mg	Esencial	Es un componente de los huesos (apatita) y de las células, además de formar parte de los procesos de obtención de energía. ² En contextos biológicos aparece como fosfato.	hipofosfatemia	Hiperfosfatemia

Magnesio Mg	420 mg	Esencial	Es requerida para el procesamiento del ATP y para los huesos..	hipomagnesemia	Hipermagnesemia
Zinc Zn	11 mg	Traza	Es necesaria para producir varias enzimas: carboxypeptidasa, anhidrasa carbónica ...	Deficiencia de Zn	Toxicidad por Zn
Hierro Fe	18 mg	Traza	Forma parte de la molécula de hemoglobina y de los citocromos que forman parte de la cadena respiratoria. Su facilidad para oxidarse le permite transportar oxígeno a través de la sangre combinándose con la hemoglobina para formar la oxihemoglobina. Se necesita en cantidades mínimas porque se reutiliza, no se elimina.	Anemia	Hemocromatosis
Manganeso Mn	2.3 mg	Oligoelemento	El manganeso tiene un papel tanto estructural como enzimático. Está presente en distintas enzimas, destacando el superóxido dismutasa de manganeso (Mn-SOD), que cataliza la dismutación de superóxidos.	Deficiencia de Mn	Manganismo
Cobre Cu	900 µg	Oligoelemento	Estimula el sistema inmunitario y es un componente de varias enzimas redox, incluyendo la cytochromo c oxidasa.	Deficiencia de Cu	Toxicidad por Cu
Iodo I	150 µg	Oligoelemento	Se necesita para la síntesis de las hormonas tiroideas. Es probablemente antioxidante y tiene un papel importante en el sistema inmune.	Deficiencia de I	Yodismo
Selenio Se	55 µg	Oligoelemento	El dióxido de selenio es un catalizador adecuado para la oxidación, hidrogenación y deshidrogenación de compuestos orgánicos. Factor esencial en la actividad de enzimas antioxidantes como <i>Glutation peroxidasa</i>	Deficiencia de Se	Seleniosis
Molibdeno Mo	45 µg	Oligoelemento	Se encuentra en una cantidad importante en el agua de mar en forma de molibdatos (MoO_4^{2-}), y los seres vivos pueden absorberlo fácilmente de esta forma. Tiene la función de transferir átomos de oxígeno al agua. También forma la <i>Xantina oxidasa</i> , la <i>Aldehído oxidasa</i> y la <i>Sulfito oxidasa</i> .	Deficiencia de Mo	

Vitaminas: Son sustancias orgánicas muy diversas y químicamente sin relación, que se precisan en muy bajas cantidades. La capacidad de síntesis de las distintas vitaminas difiere entre las especies animales. Las vitaminas que un animal no puede sintetizar por sí mismo, debe obtenerlas de otras fuentes, principalmente de plantas, pero también de la carne o de microorganismos intestinales. Así, muchos animales sintetizan el ácido ascórbico (Vit C) pero el ser humano, no. Las personas también dependemos de la producción de Vit K y Vit B₁₂ por parte de las bacterias intestinales. Las Vit liposolubles (A, D, E, K) pueden almacenarse en los depósitos de grasas del cuerpo, pero las hidrosolubles como la Vit C se excretan por orina, por lo tanto debe ingerirse continuamente.

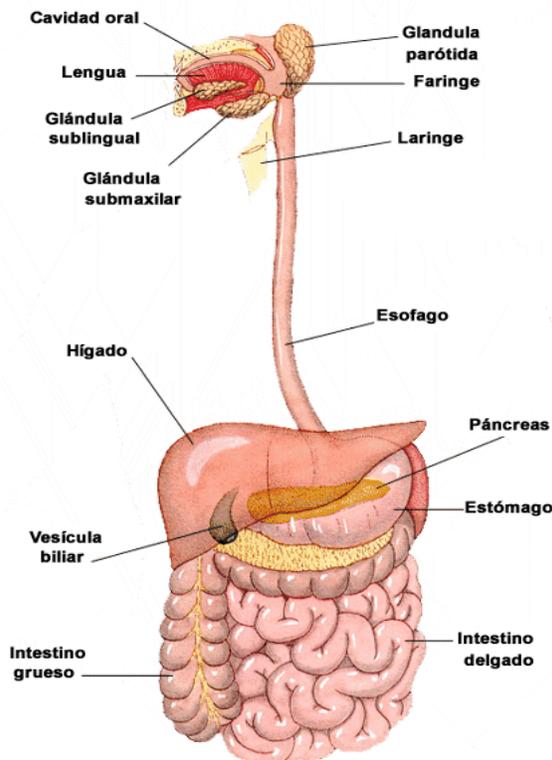


Fig. 7: Sistema Digestivo Humano

3. SISTEMA DIGESTIVO HUMANO

3.1 BOCA. INGESTIÓN

La ingestión de los alimentos consiste en el proceso de *masticación*, que equivale a la desintegración mecánica de la comida para obtener mayor superficie de acción enzimática y la *deglución*; que sería el paso hacia el siguiente órgano del sistema. La deglución presenta varias etapas:

1) *Voluntaria*, ocurre cuando los alimentos están listos para ser tragados. Se comprimen hacia atrás, presionando con la lengua, el paladar y la comida pasa hacia la faringe.

2) *Involuntaria Faringea*, se estimulan zonas receptoras del reflejo de la deglución, desencadenando una serie de contracciones musculares faríngeas que se resumen como: cierre de la tráquea por elevación de la laringe y la glotis; elevación del paladar blando para ocluir las coanas y evitar que los alimentos refluyan a las fosas nasales; apertura del esófago y desencadenamiento de las ondas peristálticas rápidas que empujan el bolo alimenticio hacia la parte superior del esófago.

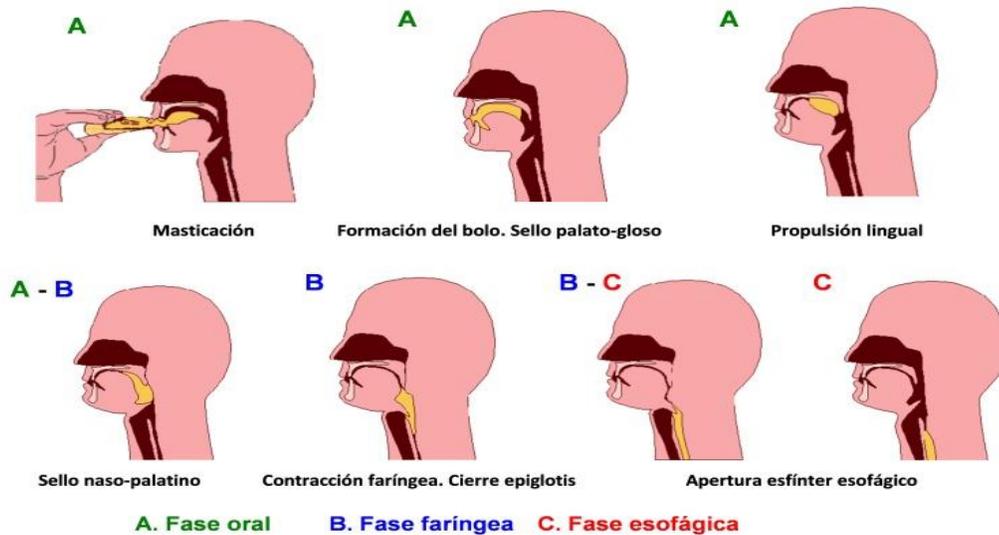


Fig. 8: Deglución

3) *Involuntaria Esofágica*, consiste en la conducción de los alimentos desde la faringe al estómago, propulsados por movimientos peristálticos.

3.2 GLANDULAS SALIVALES

La mezcla de los alimentos con la saliva es imprescindible para la digestión, pues interviene en la lubricación, limpieza de la boca y los dientes por el arrastre de las partículas, hidratación del bolo alimenticio, digestión de los polisacáridos y solubilización de las sustancias para la gustación. Por día, una persona segrega entre 1000 y 1500 ml de saliva.

La saliva se forma a partir de cuatro tipos de glándulas: *Parótidas*, *Submaxilares*, *Sublinguales* y *Mucosas de la boca*. Las parótidas y submaxilares son glándulas serosas y secretan abundantes proteínas, enzimas, factores de grupo sanguíneo, lisozima, poco moco y abundante cantidad de CO_3H^- que neutraliza la acidez dada por los metabolitos de la flora bucal. Las glándulas sublinguales y mucosas son de producción mucosa, segregan abundante cantidad de mucoproteínas y mucopolisacáridos que tienen como finalidad dar

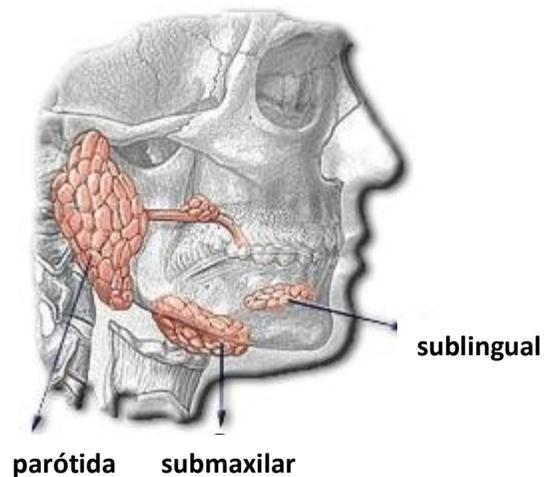


Fig. 9: Glándulas salivales

cohesión y adhesividad al bolo alimenticio, lubricándolo y favoreciendo la deglución.

La *Lisozima* es una enzima bactericida, mucolítica, que ataca bacterias controlando así la población bacteriana.

La *Ptialina* o amilasa salival es una enzima α -amilasa que ejerce su acción sobre el almidón, degradando los enlaces α 1:4 de la amilosa y la amilopectina. Tiene un pH óptimo de 6,5- 7, semejante al de la saliva. Actúa hasta que la secreción ácida del estómago penetra en el bolo alimenticio. El almidón es degradado en un 40-50% y se libera maltosa, maltotriosa y α dextrinas límite (oligosacaridos con enlaces α 1:6).

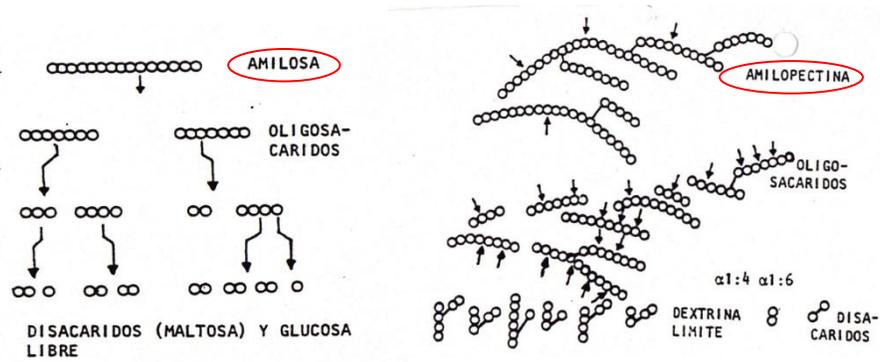


Fig. 10: Hidrólisis del almidón por acción de la Ptialina

La teoría más aceptada para explicar el mecanismo secretor de estas glándulas, propone un mecanismo de contracorriente entre la sangre y la glándula. Los capilares se disponen rodeando a los conductos primarios y a los acinos después; estableciendo así un continuo intercambio de agua y electrolitos. La secreción 1^o está constituida por CO_3H^- , K^+ , Cl^- y agua y es esencialmente isotónica con respecto al plasma. Por un posterior flujo de K^+ hacia la sangre, la saliva definitiva es siempre hipotónica.

Regulación nerviosa. La presencia de alimento en la boca, estímulos olfativos o gustativos, e incluso la visión o la referencia sobre alimentos, provoca un aumento de la secreción salival, *se hace agua la boca* por un control de los núcleos de la salivación, ubicados en el Bulbo raquídeo. También se provoca la salivación por un reflejo gástrico o intestinal, cuando hay sustancias irritantes que provocan náuseas, para diluir el efecto que éstas provocan.

3.3 ESOFAGO

Es un tubo muscular de unos 30 cm de largo, que comunica la faringe con el estómago. En él se desencadenan las ondas peristálticas que forman parte del conjunto del reflejo de la deglución. El peristaltismo es una propiedad inherente a todo conducto cuya pared sea un sincicio de fibras lisas. Los movimientos peristálticos son los principales movimientos

propulsores del sistema digestivo. Un estímulo en cualquier sitio provoca la aparición de un anillo de contracción que viaja en ambas direcciones. El estímulo más común es la distensión, producida por ej. Por el acúmulo de alimentos.

Hay dos tipos de movimientos peristálticos en el esófago: 1º y 2º. El peristaltismo 1º tiene una onda que tarda de 5 a 10 seg. en viajar de la faringe al estómago, sin embargo los alimentos suelen llegar antes por efecto de la gravedad. Si la onda 1º no alcanza para transportar los alimentos, la misma distensión provoca una onda 2º muy semejante a la 1º, salvo por su origen

sino en la zona distendida del esófago. Al penetrar en el estómago la onda peristáltica del esófago, la precede una onda de inhibición que provoca una relajación muy importante a nivel de todo el estómago y, por ende, del Cardias; esfínter gastroesofágico, permitiendo la propulsión del alimento hacia dicho órgano.

CARDIAS: Es un músculo circular de la porción inferior del esófago que se halla hipertrofiado, posee una contracción tónica, en contraste con el resto del esófago que está en constante relajación. Actúa como constrictor gastroesofágico evitando el reflujo del contenido gástrico hacia el esófago. Este es muy ácido y posee muchas enzimas proteolíticas que el esófago no es capaz de tolerar largo tiempo, salvo en el último tramo, que se continúa con el estómago.

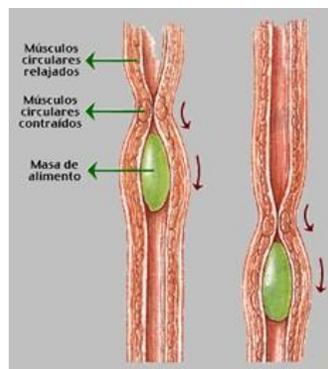


Fig. 11: Movimiento peristáltico, avance de la onda de propulsión.

3.4 ESTOMAGO

Es un ensanchamiento del tubo digestivo, de diámetro entre los 8 y 11 cm, situado a continuación del esófago. Sirve para que el bolo alimenticio se transforme en una papilla que de ahí en adelante será llamada quimo. Presenta tres regiones, la cercana al cardias se denomina *Fundus*, la región media es el *Cuerpo* y la cercana al esfínter Pilórico es el *Antro*.

El estómago tiene tres funciones motoras: almacena grandes cantidades de alimentos; mezcla los alimentos con la secreción gástrica hasta obtener una sustancia semilíquida, llamada quimo; vacía progresivamente el contenido del estómago a una velocidad tal que resulta compatible con la digestión y la absorción en el intestino.

Almacenamiento. Al entrar los alimentos al estómago se disponen cerca del *cardias*. En condiciones normales el tono de las paredes del cuerpo es reducido, por lo que el órgano puede dilatarse progresivamente para recibir cantidades crecientes de alimentos, hasta 1 Litro aproximadamente.

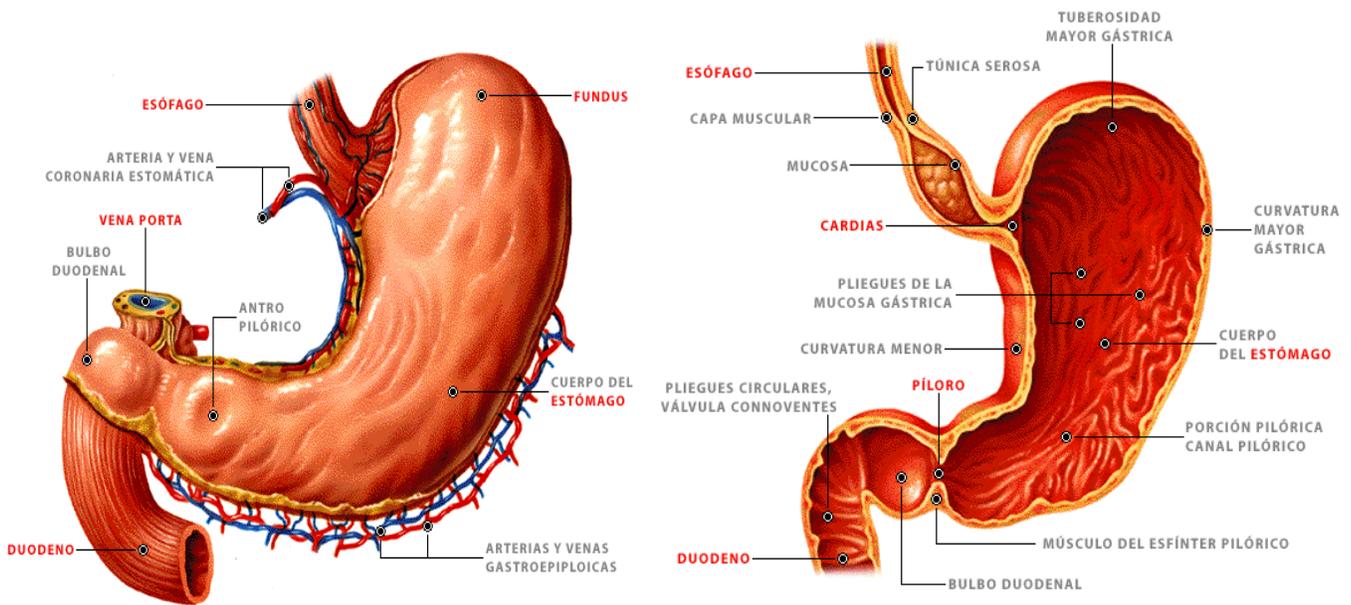


Fig. 12: Estómago, vista exterior (izq) e interior (der).

Mezcla. Los jugos digestivos del estómago son producidos por glándulas gástricas que cubren casi toda la pared del *cuerpo* y del *fondo* . Estas secreciones se ponen en contacto con los alimentos y a lo largo de la pared del estómago se producen ondas débiles, cada 20 seg. llamadas ondas mezcladoras u ondas tónicas. Se originan en cualquier sitio y se extienden hacia el *píloro* . En general son más intensas cerca del *antro* . El efecto de estas ondas es que los jugos digestivos y las capas periféricas del contenido se muevan lentamente hacia el *píloro* . Al llegar al antro las ondas aumentan su fuerza, mejoran la mezcla de los alimentos con la secreción gástrica y el contenido se hace más fluido. También se producen ondas peristálticas intensas en el *antro* . Cada onda peristáltica que llega hacia el píloro penetra profundamente en el contenido de dicho *antro* y la gran masa es desplazada en dirección retrógrada nuevamente hacia el *cuerpo* del estómago. Ambos movimientos peristálticos y de mezcla, combinados, constituyen un mecanismo de mezcla sumamente importante que forma lo que se denomina quimo, con un aspecto de pasta oscura, lechosa o semilíquida. Las ondas peristálticas ocurren aproximadamente cada 20 seg. Son continuación de las ondas de mezcla y se potencian cuando pasan del *cuerpo* al *antro* . Difunden a través del *antro* , luego sobre el píloro y conforme se va vaciando el estómago, estas ondas empiezan más y más arriba en el cuerpo exprimiendo las últimas porciones de alimento del *antro* .

En el ser humano hay un tercer tipo de contracciones intensas, que se presentan cuando el estómago está vacío por mucho tiempo, son las *contracciones de hambre*. Normalmente son contracciones rítmicas de tipo intenso. Cuando adquieren intensidad extrema suelen fundirse para formar una contracción tetánica continua que dura hasta 2 o 3 min. Estas no suelen aparecer antes de 12 o 24 hr de la última ingestión y durante el ayuno prolongado alcanzan su máxima intensidad a los 3 o 4 días y luego se debilitan en los días sucesivos. Es probable que constituyan un medio para intensificar el deseo de alimento cuando una persona está en estado de ayuno incipiente. La propia distensión del estómago estimula la secreción gástrica, rica en ClH, esta produce irritación de la mucosa gástrica y así aumenta las contracciones del estómago.

Vaciamiento. Básicamente es promovido por ondas peristálticas que viajan desde el estómago al duodeno y sufre la oposición de la resistencia del píloro al paso de los alimentos. Cuando las ondas peristálticas aumentan periódicamente la presión en el antro y el píloro; puede vaciarse quimo hacia el duodeno. Estas ondas ocurren aproximadamente 3 veces/min y a medida que avanzan, el esfínter pilórico y la porción proximal del duodeno se relajan, a esto se lo llama *Bomba pilórica*. La velocidad con que el quimo pasa al duodeno por efecto de la bomba pilórica depende de la fluidez del contenido gástrico y de la receptividad del intestino.

Las glándulas que encontramos en el estómago son:

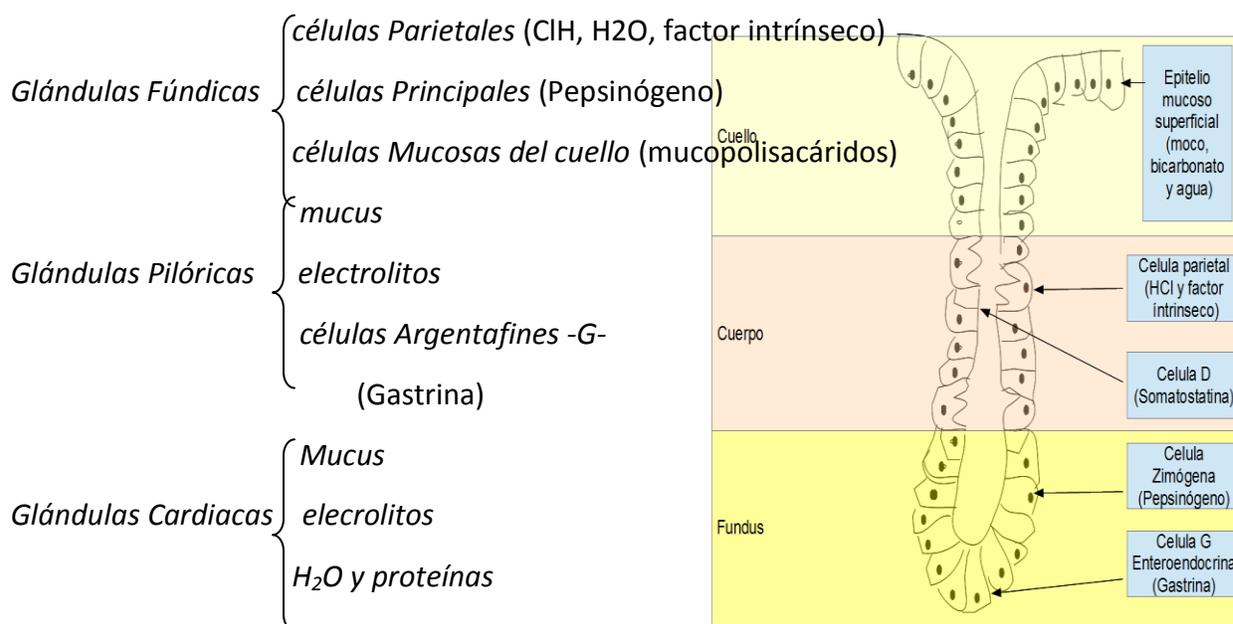


Fig. 13: Glándula Fúndica

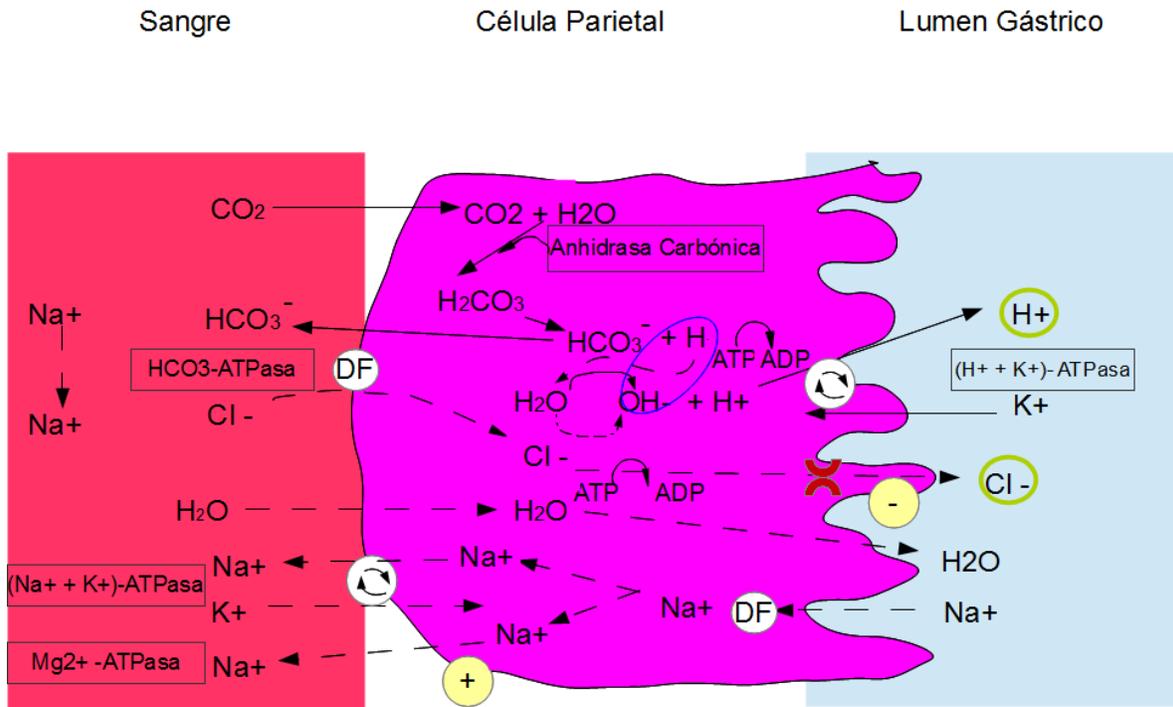


Fig. 14: Secreción de ClH en las células parietales del estómago

El CO_2 producido por el metabolismo de la célula o proveniente de afuera, se asocia con el agua $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ para dar ácido carbónico CO_3H_2 , en reacción catalizada por la enzima anhidrasa carbónica. Este se disocia en H^+ y en ion bicarbonato CO_3H^- . Los H^+ , por transporte activo pasan a los canalículos de la glándula y el CO_3H^- vuelve a la sangre por difusión. El ion Cl^- aparentemente pasa por transporte activo desde la sangre hasta la luz de la glándula. En cambio el agua lo hace por transporte pasivo. La secreción pura de ClH es de 160 mEq/L, pero este valor se modifica por varios factores: secreción parietal, alimentos, saliva, bilis, jugos pancreáticos, etc. El pasaje de CO_3H^- hacia la sangre venosa gástrica la alcaliniza. Así cuando la secreción ácida aumenta, por ej, con una comida, el pH de la sangre y la orina se elevan, generando la *Marea alcalina postprandial*: alcalinización de la sangre (7,8 pH) que genera modorra y somnolencia.

Las funciones del ClH en el estómago son:

*Digestión del tejido conectivo y disociación de las fibras musculares que permite la posterior digestión de las mismas por la pepsina.

*Activación del pepsinógeno a pepsina.

*Brinda el pH óptimo para la pepsina (1,5-3,5)

*Bactericida que impide el desarrollo de bacterias.

*Estimula la liberación de *Secretina* (hormona) en el duodeno.

*Ioniza el Ca y el Iodo para que puedan ser absorbidos en el duodeno.

El *Factor intrínseco* es una glicoproteína segregada por las células parietales del estómago y forma un complejo binario con la Vit. B₁₂ de la dieta, este complejo se une a los receptores de membrana, formando un complejo terciario, que permite su absorción en el íleon. La ausencia de factor intrínseco implica el consumo de los depósitos hepáticos de Vit. B₁₂ y su agotamiento.

Pepsina. La Pepsina es segregada por las células principales como *Pepsinógeno* (precursor) y activada por el CIH (pH < 3,5). Es la principal enzima proteolítica del estómago, hidroliza las uniones de aminoácidos aromáticos (fenilalanina, tirosina) con otros aminoácidos, dando lugar a péptidos de diverso tamaño.

Mucus. Se presenta en dos formas, visible y disuelto. El visible proviene del epitelio de superficie y de las glándulas pilóricas y cardiales, forma una capa protectora de 1- 1,5 mm de espesor. El mucus disuelto es el resultado de la degradación del visible y de la secreción de las células mucosas del cuello. Su función es lubricar el quimo y ofrecer protección mecánica a la mucosa, además neutraliza los H⁺ actuando en cierta forma como barrera protectora.

Electrolitos. La concentración de electrolitos en el jugo gástrico demuestra porque es tan importante la pérdida por vómitos o diarreas. Se puede producir: Alcalosis metabólica, Deshidratación, Hipokalemia (pérdida de K) o Hipocloremia (pérdida de Cl).

Electrolito	Concentración Plasma	Concentración Jugo Gástrico
H ⁺	0,00004 meq/l	140 meq/l
K ⁺	5 meq/l	12 meq/l
Na ⁺	142 meq/l	60 meq/l
Cl ⁻	103 meq/l	160 meq/l

Gastrina. Es una hormona peptídica, gástrica secretada por las *células Argentafines* o *células G del Antro*. La presencia de alimento produce la liberación de esta hormona por distensión del estómago, así como la presencia de proteínas parcialmente digeridas, aminoácidos, Ca⁺², el pH alcalino, alcohol, cafeína. La gastrina pasa a la sangre y actúa sobre las glándulas gástricas aumentando la secreción de CIH y de enzimas, así como la motilidad. La liberación de gastrina está controlada por una retroalimentación negativa,

3.5 HIGADO

Es un órgano interpuesto entre el tubo digestivo propiamente dicho y la circulación general: *Sistema Porta*, que cumple muy diversas funciones. La vascularización hepática está representada por tres elementos principales; de aporte: la *Vena Porta*, que lleva los nutrientes absorbidos en el intestino delgado y parte del estómago y la *Arteria Hepática*, que lleva el O_2 necesario a las células y de drenaje: las *Venas Suprahepáticas*. Tiene un volumen aproximado de $1200-1500 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$, es decir el 30% del volumen total.

3.5.1 Función de almacenamiento

Se almacenan en el HÍGADO los principales nutrientes: proteínas, hidratos de carbono (glucógeno 200 - 300 g), lípidos, vitaminas y minerales, para su posterior liberación al torrente circulatorio.

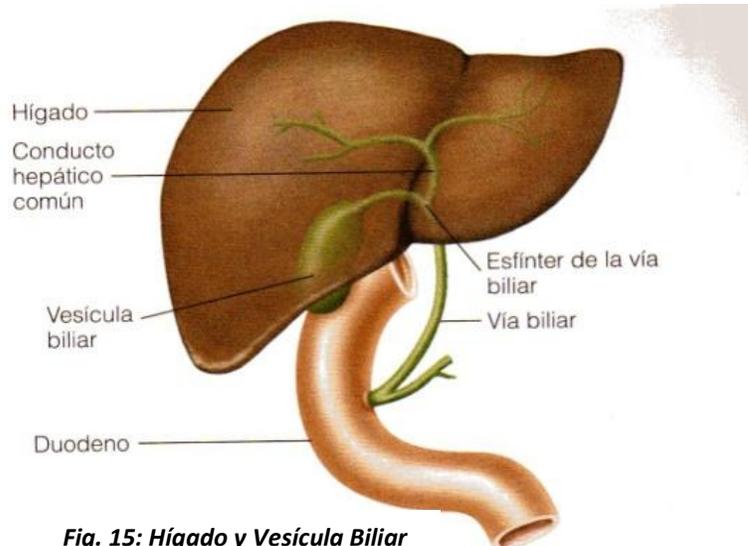


Fig. 15: Hígado y Vesícula Biliar

3.5.2 Función de conjugación

Es uno de los mecanismos más importantes con que cuenta el hígado para cumplir con sus funciones metabólicas. Es así como transforma la bilirrubina, hormonas esteroideas, drogas, etc, siendo uno de los mecanismos fundamentales en el proceso de detoxificación.

3.5.3 Función metabólica

Hidratos de Carbono. El organismo humano almacena alrededor de 500 gr de glucógeno, del cual entre 200-300 gr se encuentran en el hígado. Debido a que es el único órgano que posee la enzima *glucosa-6P-fosfatasa* (cataliza el pasaje de gluc-6P >> glucosa), permite la liberación de glucosa a la sangre regulando la glucemia a partir de la **glucogenolisis**. También posee la enzima *glucoquinasa* (cataliza la fosforilación glucosa >> gluc-6P) que induce la **glucogenogénesis**. Realiza todas las etapas de las vías glucolítica, glucogenolítica y de glucogenogénesis.

Es el único órgano capaz de transformar el ácido láctico en glucosa. Gracias al torrente sanguíneo, el hígado y el músculo participan de un ciclo metabólico conocido como el

ciclo de Cori. El ácido láctico se transfiere a través de la sangre, al hígado, donde se convierte en ácido pirúvico mediante la enzima *lactato deshidrogenasa* y después en glucosa por gluconeogénesis. El ATP del hígado se utiliza para resintetizar glucosa a partir del ácido láctico producido en el músculo y la glucosa resintetizada vuelve de nuevo al músculo para ser utilizada o almacenada en forma de glucógeno.

Proteínas. Se sintetizan numerosas proteínas y enzimas, pero son especialmente importantes la albúmina, responsable de la presión coloidosmótica del plasma y los factores de coagulación sanguínea. El NH_3 proveniente del catabolismo de los aminoácidos es transformado en el hígado en urea, evitando la acumulación en sangre de amoníaco libre, porque es notablemente tóxico. Esta función toma vital importancia en cuanto al amoníaco proveniente del colon como producto final de la acción bacteriana sobre los restos proteicos.

Lípidos. En el hígado se degradan los triglicéridos a glicerol y ácidos grasos. Oxida los ácidos grasos a Acetil-CoA (β -oxidación), conectando la vía con Ciclo de Krebs. Se sintetiza triglicéridos que almacena o deriva a otros tejidos en forma de lipoproteínas. Estos lípidos actúan como medio de transporte de iones (Fe y Cu) y hormonas (corticoides). Se sintetiza y se esterifica colesterol, principal sustrato de las sales biliares y de las hormonas esteroideas.

Respecto al colesterol, las proteínas que transportan el colesterol en la sangre hacia las células son denominadas *Lipoproteínas de baja densidad* o **LDL** (de Low density lipoproteins). Cuando la célula necesita colesterol, por ej para la síntesis de membrana, produce proteínas receptoras de **LDL** en su membrana plasmática. En los lisosomas se hidrolizan los ésteres de colesterol y queda a su disposición para la biosíntesis de las membranas. Si se acumula demasiado colesterol libre en la célula, ésta detiene tanto la síntesis de colesterol como la síntesis de proteínas receptoras de LDL, con lo que la célula produce y absorbe menos colesterol. Aumenta el circulante. Las *lipoproteínas de alta densidad* o **HDL** (*High density lipoprotein*) son aquellas lipoproteínas que transportan el colesterol desde los tejidos del cuerpo hasta el hígado. Debido a que las HDL pueden retirar el colesterol de las arterias y transportarlo de vuelta al hígado para su excreción, se les conoce como el **colesterol bueno**. Las **HDL** son las lipoproteínas más pequeñas y mucho más densas, están compuestas de una alta proporción de proteínas. El hígado sintetiza estas lipoproteínas como proteínas vacías y, tras recoger el colesterol, incrementan su tamaño al circular a través del torrente sanguíneo. Los hombres suelen tener un nivel notablemente inferior de HDL que las mujeres (por lo que tienen un riesgo superior de enfermedades del corazón).

Vitaminas- Es reservorio de vitaminas Liposolubles (A, D, E, K) y en especial se considera la *vit. K*, necesaria para la producción de los factores de coagulación sanguínea. También almacena *vit. B₁₂*, necesaria para la maduración de los glóbulos rojos.

3.5.4 Función de Detoxificación

En el hígado se producen pequeñas modificaciones químicas que favorecen la inactivación de compuestos tóxicos para el organismo (drogas o venenos). Se realiza mediante conjugación, oxidación o reducción.

3.5.5 Función Endocrina

Se sintetiza: el *Angiotensinógeno*, precursor de la *Angiotensina*, hormona de función renal que provoca vasoconstricción generalizada, por lo tanto promueve una elevación de la Presión arterial, aumento del flujo sanguíneo renal y aumento de la tasa de filtración glomerular.

Sintetiza el precursor de la *Bradiquinina*, un potente vasodilatador dependiente del endotelio que provoca la contracción del músculo liso, aumenta la permeabilidad capilar. Sintetiza *Eritropoyetina*; factor estimulante de la eritropoyesis. Durante la vida fetal es el principal estimulante de la eritropoyesis, después del nacimiento toma el control el riñón y en menor medida el hígado.

3.5.6 Función del Sistema Reticuloendotelial SRE

O *Sistema Mononuclear Fagocítico* constituye un sistema de defensa del organismo, distribuido entre los monocitos circulantes en sangre y los macrófagos que maduran en los diferentes tejidos que, en el caso del hígado, se denominan *células de Kupffer*.

Estas células tienen la función de procesar los antígenos, fagocitar microorganismos y desechos, células muertas, captar hematíes y participan del metabolismo de la bilirrubina. Se encargan de separar las proteínas del *Hemo*, extraer el Fe^{+2} y conjugan la bilirrubina con ácido glucurónico.

3.5.7 Función Exócrina

Pigmentos Biliares

La *Bilirrubina* que se obtiene a partir del catabolismo del grupo Hemo, procedente de la Hemoglobina y la Mioglobina, es transportada por sangre al HÍGADO. Inicialmente es liposoluble, en el hígado es conjugada con ácido glucurónico y con sulfatos, haciéndose hidrosoluble. Se vierte al Intestino Delgado, vía Vesícula Biliar, donde se hidroliza a *Bilirrubina libre* y se reduce sucesivamente hasta llegar a *Esterco bilinogeno* o

Urobilinogeno. En contacto con el aire se oxida a *Estercobilina* (en heces) y *Urobilina* (en orina).

Sales Biliares

En el Ser Humano hay cuatro ácidos biliares: *Ácido cólico*, *Ácido quenodesoxicólico*, que se sintetizan a partir del colesterol en el hígado y *Ácido litocólico* y *Ácido desoxicólico*, que se sintetizan a partir de los anteriores por efecto de las bacterias intestinales. Los ácidos biliares se conjugan con taurina o glicina, para dar *Ácidos conjugados*; por ej. el *Ácido glicocólico*.

Los ácidos libres o conjugados se unen a Na⁺ o K⁺ para formar las *Sales Biliares*, que se vierten al Intestino Delgado a través de la Vesícula Biliar. Las Sales Biliares en el intestino se hidrolizan y pierden el Na⁺ o K⁺ y la glicina o taurina antes de ser reabsorbidas (90-95%) y regresadas al circuito enterohepático.

Las sales biliares tienen la función de regular su propia síntesis y secreción, constituyen parte integrante de la micela biliar y las micelas mixtas que favorecen la absorción intestinal, especialmente de los ácidos grasos, estimulan el peristaltismo del intestino delgado, limitan el crecimiento de las vellosidades, favorecen la absorción de Ca, Mg y vitaminas liposolubles (A, D, E, K) al favorecer la absorción de los lípidos.

3.6 VESÍCULA BILIAR

Es un órgano íntimamente asociado al hígado, que actúa principalmente como reservorio. Almacena los pigmentos y las sales biliares y los concentra entre 5 y 10 veces. La bilis vesicular es menos alcalina que la bilis hepática debido a que hay una reabsorción de Cl⁻ y CO₃H⁻. Entre los solutos más importantes que componen la bilis debemos recordar: *Sales biliares*, *Pigmentos biliares*, *colesterol*.

Los estímulos que aumentan las secreciones biliares se definen como Coleréticos y los que estimulan la contracción vesicular, Colagogos.

Los *Cálculos biliares* se forman principalmente de los componentes de la bilis que se han precipitado y forman cristales. La frecuencia de cálculos aumenta con la edad y es dos veces más común en mujeres que en hombres. En un 90% de los casos el colesterol es el componente principal o único de los cálculos. Algunas veces el Ca es un componente importante y la Bilirrubina predomina en otros. Este trastorno coexiste, entre otras cosas con una disfunción en la absorción de la vesícula biliar debido a lesión o infección, o a un metabolismo anormal del colesterol. La relación de colesterol y sales biliares parece ser en

especial importante. Pareciera que la mayoría de los pacientes de vesícula biliar tienen un fondo común pequeño de ácidos biliares, en general y a menudo mucho menor ácido quenodesoxicólico.

La *Ictericia* es el cambio de color a un tono amarillento de la piel, mucosas y líquidos corporales, debida a un exceso de pigmentos biliares. El Tipo más frecuente ocurre por oclusión del conducto biliar, ya sea a causa de cálculos o por desarrollo de un tumor.

3.7 PANCREAS

Es una de las principales glándulas digestivas del organismo con importantes funciones endócrino-metabólicas. Es una glándula arracimada, semejante a las glándulas parótidas.

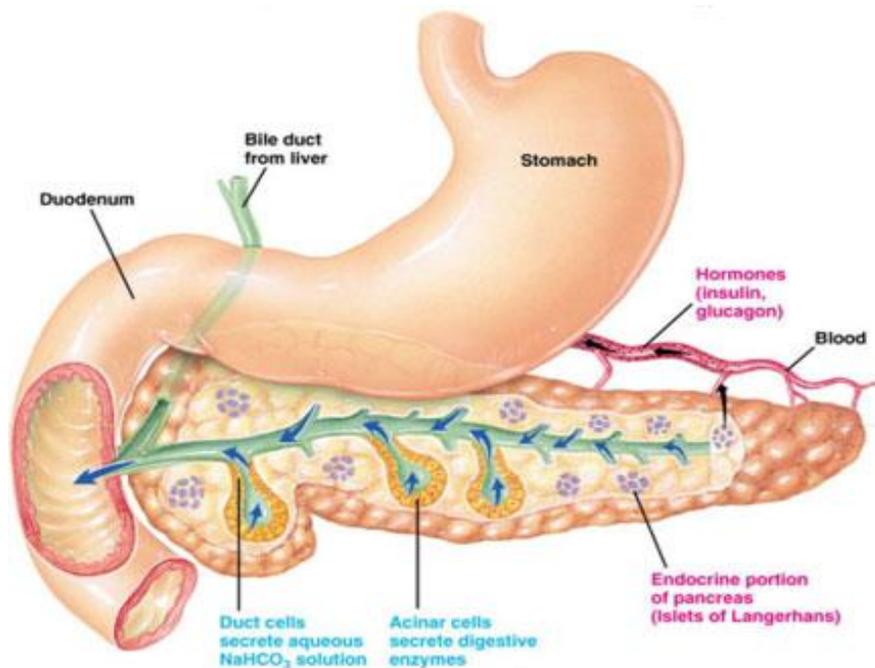


Fig. 16: Páncreas

3.7.1 Función Endocrina

La porción endócrina está representada por los *Islotes de Langerhans*, son los encargados de la secreción de hormonas que están implicadas en la regulación de los niveles de glucosa en sangre. Las células α secretan *Glucagón* ante la hipoglucemia, aumentando la glucemia y las células β segregan *Insulina* frente a situaciones de hiperglucemia, disminuyendo la concentración de glucosa en sangre.

3.7.2 Función Exocrina

Hidroelectrolitos. Como glándula de secreción externa elabora productos que intervienen en la digestión intestinal, como enzimas, agua y electrolitos que contribuyen a mantener la osmolaridad del jugo pancreático. Se producen aproximadamente 1000 a 1500 mL por día. La secreción de CO_3H^- es la más alta del organismo, pero se mantiene isotónica debido a que además contiene otras sales NaCl , KCl y PO_4Ca . La suma de las concentraciones de Cl^- y de CO_3H^- es una constante. El mecanismo de secreción de bicarbonato en el páncreas es semejante al de ClH en el estómago, con la diferencia de que se invierten los flujos. El páncreas normalmente segrega de 1 a $1\frac{1}{2}$ L de jugo por día.

Enzimática. Las enzimas pancreáticas normalmente recirculan en un 60-90% ya que se reabsorben en el intestino delgado y son devueltas por la circulación a los acinos pancreáticos. La digestión de los nutrientes consta de una fase intraluminal, en la que son degradados parcialmente y una fase celular, en la que son hidrolizados a su expresión más pequeña.

- a) **Proteasas:** Enzimas liberadas como precursores y se activan en el Intestino Delgado mediante la enzima intestinal *Enteroquinasa*. Esta enzima activa al precursor *Tripsinógeno* activándolo a *Tripsina*. La enzima *Tripsina* activa al resto de las proteasas.

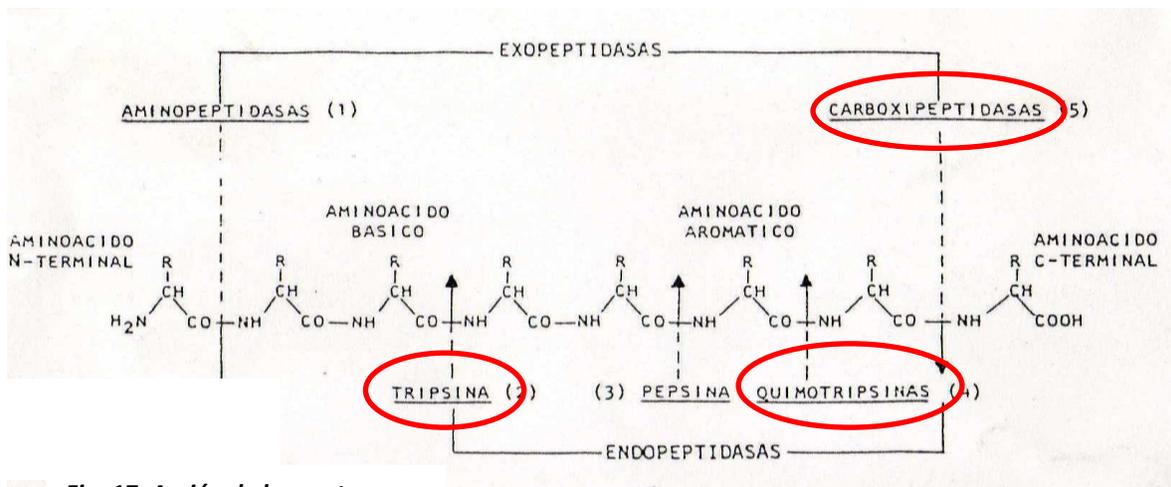


Fig. 17: Acción de las proteasas

Endopeptidasas. Actúan sobre el centro de las moléculas de proteína o polipéptidos, atacando uniones específicas. Se segregan como precursores inactivos: *Tripsinógeno*, *Quimotripsinógeno*, *Proelastasa* que se activan a: *Tripsina*, *Quimotripsina* y *Elastasa*.

Exopeptidasas. Son aquellas enzimas que hidrolizan los extremos terminales liberando el aminoácido del extremo N-terminal: *Procarboxipeptidasa A y B*, se activan a *Carboxipeptidasa A Y B*.

b) Lipasas: La mayor parte de los lípidos de la dieta son triglicéridos de origen vegetal, algunos de origen animal, contribuyendo en menores proporciones los fosfolípidos y esteroides. En el duodeno el quimo gástrico se pone en contacto con la bilis y con el jugo pancreático. La bilis no tiene enzimas digestivas, su función en la digestión consiste en promover la emulsificación de los mismos. La mezcla de bilis, jugo pancreático y secreción duodenal, ligeramente alcalina, neutraliza la acidez del quimo gástrico.

Las sales biliares presentan grupos ionizados de carga (-) que, como el resto de la molécula es hidrofóbica, determinan que estas sustancias tengan propiedades detergentes o emulsificantes. La agitación mecánica producida por el peristaltismo contribuye con la emulsificación de las grasas que sucesivamente son dispersadas en gotitas más pequeñas. Esto hace que haya un aumento en la superficie de contacto entre el lípido y la fase acuosa, lo que permite un mayor ataque por parte de las enzimas lipolíticas del páncreas.

Lipasa Pancreática actúa sobre los triglicéridos y cataliza la hidrólisis de las uniones ester 1 y 3, dando lugar a 2-monogliceridos y ácidos grasos libres. *Fosfolipasa Pancreática* es segregada como precursor y activada por la Tripsina, cataliza la hidrólisis del ácido graso esterificado en la posición 2, liberando un lisofosfátido y un ácido graso. Los lisoderivados también son excelentes detergentes y colaboran en la emulsión de los lípidos, al igual que los 2-monogliceridos y los ácidos grasos libres, debido a que presentan grupos hidrofílicos e hidrofóbicos que contribuyen a la formación de las micelas: mezcla de productos de hidrólisis con sales biliares, en las que las moléculas se orientan con sus grupos hidrofílicos hacia la fase acuosa y con sus grupos hidrofóbicos hacia el interior, donde pueden ser solubilizados otros materiales insolubles en agua.

c) Amilasas: La digestión de los hidratos de carbono consiste en la suma de las hidrólisis enzimáticas que los transforma en oligo, di, tri y monosacáridos. En la fase luminal, que

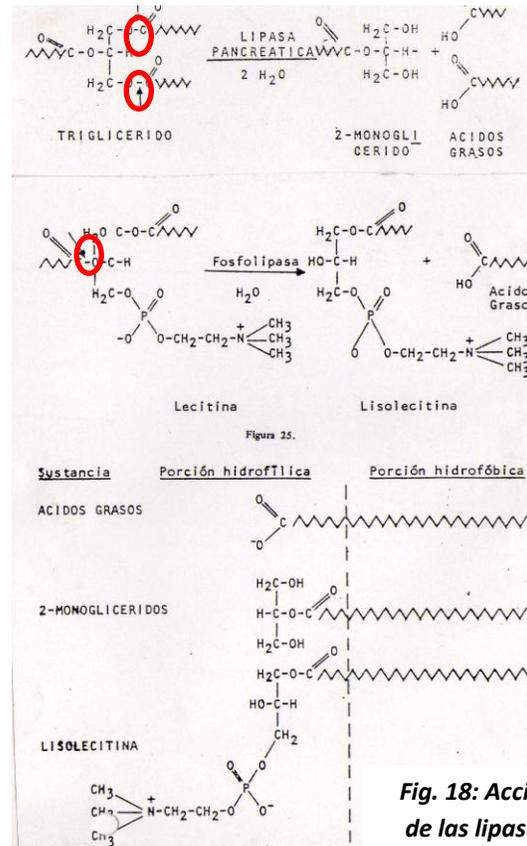


Fig. 18: Acción de las lipasas

ocurre en la luz del intestino delgado, actúa la *Amilasa Pancreática*, es una α 1-4 amilasa, semejante a la Amilasa Salival que actúa sobre la amilosa y la amilopectina del almidón, liberando oligosacáridos, tri, di y monosacáridos, maltosa, maltotriosa, isomaltosa y dextrinas límite (con enlaces α 1-6) (Fig. 10).

d) **Nucleasas:** El páncreas produce enzimas hidrolíticas específicas para ácidos nucleicos ADN y ARN. Son la Ribonucleasa y Desoxirribonucleasa que hidrolizan ARN y ADN liberando oligonucleótidos pequeños.

3.8 INTESTINO DELGADO

Se extiende desde el *Píloro* hasta la *Válvula Iliocecal*. Mide aproximadamente 7 m y está formado por tres regiones: el *Duodeno* el *Yeyuno* y el *Ilion*. Presenta características especiales que acrecientan la superficie de digestión y absorción.

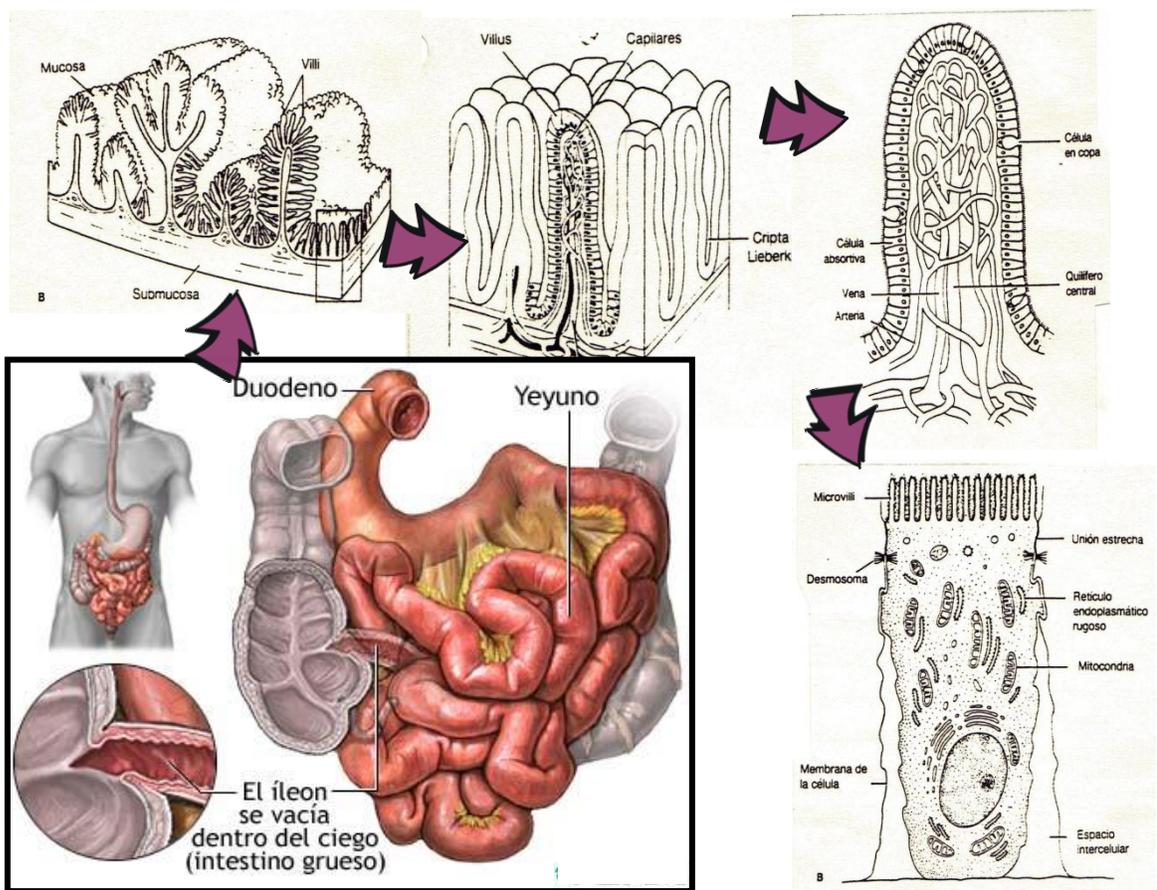


Fig. 19: Intestino Delgado

Anatomohistológicamente no es un tubo liso, sino que presenta las llamadas *Válvulas Conniventes* o *Pliegues de Kerkring*, pliegues de la mucosa que se oponen al paso del quimo por el intestino. Dichas válvulas están recubiertas de vellosidades cuyas células presentan microvellosidades, denominadas *Ribete en cepillo*. La sumatoria de estas estructuras multiplica la superficie de absorción a unos 200m^2 . Las vellosidades poseen células mucossecretoras (caliciformes), *glándulas de Lieberkuhn* con células argentafines, secretoras de hormonas como: secretina, CCKPZ, etc.

Motilidad. En el intestino delgado los *Movimientos de mezcla* son movimientos de segmentación que ocurren a lo largo de todo el órgano, casi, constantemente. Se caracterizan por la contracción de músculos circulares, de aproximadamente 1-2 cm de largo, en varias zonas, que pueden ser irregulares o rítmicas, mientras que las zonas

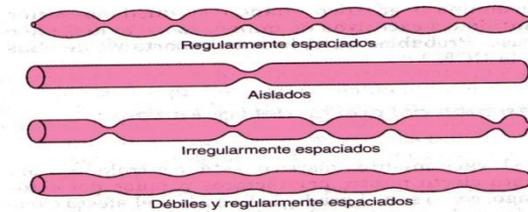


Fig. 20: Movimientos de mezcla

adyacentes a la contracción se relajan. La frecuencia de contracción es de $8-12\text{ min}^{-1}$. Esta segmentación le da al intestino el aspecto de un collar de cuentas. La serie de cortes que sufre el quimo aseguran una buena mezcla del contenido con las secreciones del intestino delgado, a la vez que se asegura la penetración de las secreciones en el quimo. Los movimientos mezcladores también cumplen la función de renovar constantemente el contacto del quimo con la mucosa para favorecer su absorción. La vellosidades se contraen provocando el acortamiento y ondulación de las mismas. Este movimiento permite que el quilífero central expulse su contenido al sistema linfático.

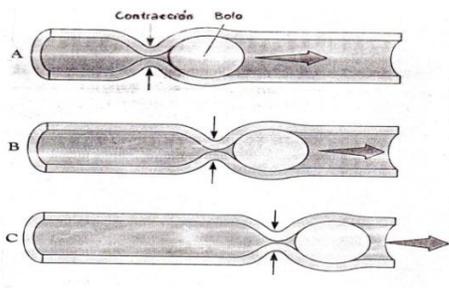


Fig. 21: Movimientos de propulsión o peristálticos

El quimo es propulsado en sentido caudal, a través del intestino, por *Movimientos peristálticos*, consisten en un anillo de contracción de unos 4-5 cm que se desplaza a una velocidad de $1-2\text{ cm}\cdot\text{seg}^{-1}$. Dichas contracciones se superponen al movimiento segmentario. Normalmente las ondas peristálticas son débiles y suelen desaparecer después de viajar unos pocos cm, en consecuencia el desplazamiento del quimo es lento, en promedio hace $1\text{ cm}\cdot\text{min}^{-1}$. Lo que significa que se necesitan de 3 a 10 horas para que el alimento recorra todo el intestino delgado. Debido al reflejo gastroentérico la motilidad del intestino se ve estimulada, así como la secreción. Al llegar a la válvula iliocecal el quimo puede quedar bloqueado, hasta varias horas, hasta que una

nueva ingesta activa el reflejo gastroentérico, intensifica el peristaltismo en el Ileon y manda el resto de quimo a través de la válvula iliocecal.

La función principal de la válvula iliocecal es evitar el reflujo de materias fecales del *Colon* al intestino delgado. En los últimos cm del *Ileon* la pared del intestino posee una capa muscular engrosada, denominada esfínter iliocecal que, en condiciones normales esta contraído y no permite que el *Ileon* se vacíe en el *Colon*, excepto inmediatamente después de una comida. Esta resistencia del esfínter aumenta la permanencia del quimo en el intestino y facilita su absorción.

La motilidad intestinal depende exclusivamente de mecanismos de regulación intrínsecos (plexo mientérico y submucoso) y la intensidad depende de mecanismos de regulación extrínseco, por parte del sistema simpático. La regulación hormonal está dada por la hormona CCKPZ como estimulante y la Secretina como inhibidora.

Secreción Enzimática. El Intestino Delgado segrega *Enteroquinasa*, enzima que activa los precursores enzimáticos que libera el Páncreas. A la vez segrega las enzimas digestivas que hidrolizan a nivel celular los nutrientes que no han sido digeridos por las enzimas pancreáticas a nivel luminal. Para la digestión de los **carbohidratos** segrega *Maltasa*, *Lactasa*, *Oligo 1-6 glucosidasa*, *sacarasa* (α glucosidasa), β *galactosidasa*, que actúan a nivel del ribete en cepillo de las células. La digestión de los **polipeptidos** ocurre en la mucosa del intestino porque contiene enzimas que hidrolizan uniones peptídicas, en algunos casos en el ribete en cepillo y en otros en el interior de la célula. Las *Aminopeptidasas* son exopeptidasas que actúan sobre las cadenas polipeptídicas liberando el aminoácido del extremo N-terminal y por hidrólisis sucesivas llegan a degradar toda la cadena de aminoácidos. Las Peptidasas del citosol son responsables de alrededor de un 90% del total de la actividad contra dipeptidos, pero no así contra péptidos con más de 3 aminoácidos. Entre las peptidasas ubicadas en el ribete en cepillo se observa una actividad preponderante contra péptidos mayores. Respecto a los **nucleótidos**, las *Nucleotidasas*

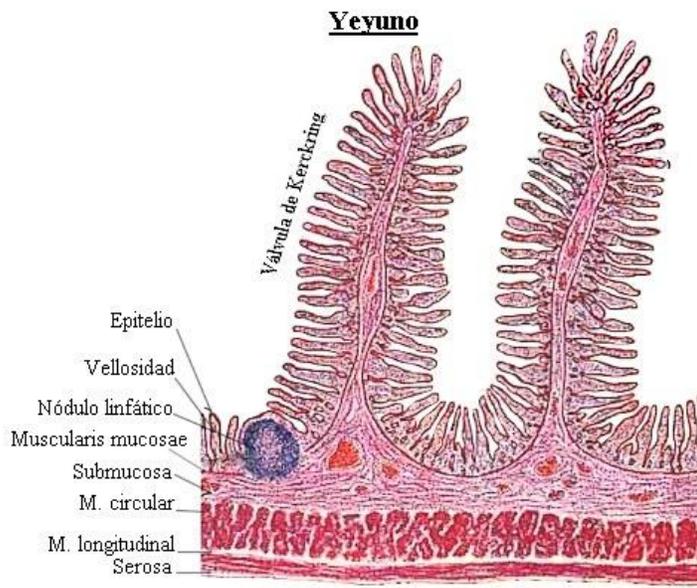


Fig.22: Vellosidad intestinal en Yeyuno

actúan liberando nucleósidos y Pi.

3.8.1 Mecanismo de regulación intestinal

Reflejos Intestinales constituyen una respuesta automática e involuntaria que realiza el sistema ante la presencia de un determinado estímulo.

Reflejos Estimuladores, son aquellos reflejos que como producto de una distensión cefálica (cerca de la cabeza) provocan una contracción distal o caudal:

Gastroleal: Distensión Gástrica >> Contracción Ileón

Gastrocolico: Distensión Gástrica >> Contracción Colon

Duodenocolico: Distensión Duodenal >> Contracción Colon

Reflejos Inhibidores, son aquellos reflejos en los que una distensión caudal produce una inhibición cefálica:

Ileogastrico: Distensión Ileón >> Inhibición Gástrica

Anogastrico: Distensión Anal >> Inhibición Gástrica

Intestino-intestinal: Distensión Intestino >> Inhibición Intestino

Enterogastrico: Distensión Intestino >> Inhibición Gástrica

Sistema de Secreción Hormonal Entérico es un sistema difuso en el cual hay células aisladas que segregan hormonas, dispuestas entre las células epiteliales del estómago y del intestino, que actúan sobre los propios órganos del sistema.

SECRETINA, secretada por la mucosa duodenal en respuesta al bajo pH. Tiene como función disminuir la motilidad digestiva general. En el intestino inhibe la motilidad duodenal, estimula la secreción pancreática de electrolitos, a fin de neutralizar la acidez del jugo gástrico.

CCKPZ (Colecistoquinina Pancreozimina), liberada en la mucosa del yeyuno. Su función es inhibir la motilidad y secreción gástrica. En el intestino delgado estimula la secreción, estimula la secreción pancreática de enzimas digestivas, estimula la contracción de la vesícula biliar, liberando las sales biliares al duodeno.

MOTILINA, es producida por el yeyuno-ileón y estimula la motilidad gastrointestinal.

GIP (Péptido Inhibidor Gástrico), secretada en la mucosa duodenal. Su función es disminuir levemente la motilidad y secreción gástrica y activar al páncreas para que segregue insulina.

ENTEROGLUCAGON, es secretada por el ileon y el colon. Tiene la función de inhibir la secreción de agua y enzimas pancreáticas, por competencia con la secretina.

3.9 INTESTINO GRUESO

También es denominado *Colon* y recibe una mezcla de residuos que son el remanente de la digestión y absorción intestinal. Este quimo intestinal consta de residuos ingeridos e indigeribles, junto con secreciones digestivas que comprenden una cantidad considerable de agua y electrolitos que fueron deglutidos o secretados y escapan a la absorción del intestino delgado. Se extiende desde el esfínter iliocecal hasta el ángulo recto sigmoideo, con una longitud de 1,5 a 1,8 m. Se clasifican algunas regiones: *Ciego y Apéndice, Colon Ascendente, Colon Transverso, Colon Descendente, Colon Sigmoideo* y luego se continúa en Recto y Ano.

Histológicamente posee tres particularidades que están en relación con las funciones que realiza, la ausencia de vellosidades intestinales, la abundancia de células caliciformes en su mucosa y la ausencia de gránulos de secreción enzimática en las células epiteliales del citoplasma claro.

Las funciones del *Colon* son absorción de agua y electrolitos del quimo y almacenamiento de materias fecales, hasta el momento de su expulsión. Por razones morfológicas y funcionales se lo divide para su estudio en dos mitades: la porción derecha comprende el *Ciego, Colon Ascendente* y la mitad derecha del *Colon Transverso* e interviene principalmente en la absorción de agua y electrolitos, junto con el Yeyuno-Ileon. La segunda mitad comprende la mitad izquierda del *Colon Transverso, el Colon Descendente*

y el *Colon Sigmoideo* y actúa como reservorio temporal y regulador de la evacuación.

Motilidad. Ninguna de las dos regiones requiere movimientos intensos, por lo que las contracciones del *Colon* suelen ser lentas, sin embargo conservan las características de los movimientos

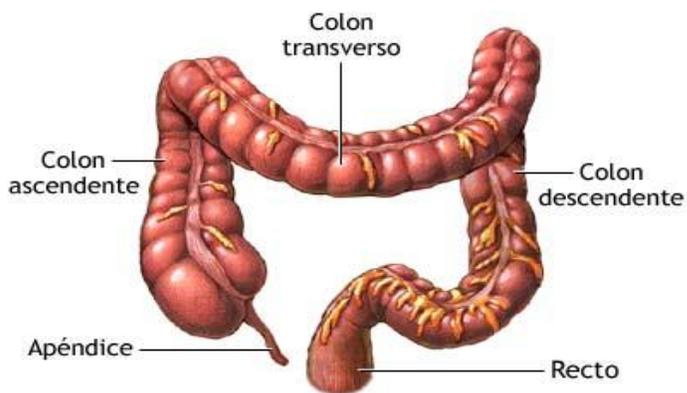


Fig. 23: Intestino Grueso

intestinales: de mezcla y peristálticos.

Movimientos de mezcla. El intestino grueso presenta grandes constricciones circulares que llegan a veces a suprimir totalmente la luz. También hay fibras longitudinales llamadas *Tenias*. Las contracciones combinadas de las fibras circulares y longitudinales hacen que las porciones no estimuladas se abomben hacia afuera para formar los llamados *Haustras* o *Saculaciones*. Estas contracciones suelen ir aumentando durante los primeros 30 seg. y van perdiendo fuerza durante el minuto siguiente hasta desaparecer. Después de unos minutos ocurre una serie de contracciones en sitios vecinos, diferentes de los primeros. Así la materia fecal es triturada y movida y puede ser además propulsada del *Colon Ascendente* al *Colon Transverso* con movimientos de propulsión débiles.

Movimientos de propulsión. El Colon no presenta ondas peristálticas parecidas a las del Intestino delgado sino otro tipo de movimientos llamados *en masa*, que empujan el material fecal hacia el ano. Estos movimientos suelen ocurrir unas cuantas veces al día, solamente que son más abundantes durante unos 10 minutos en la primera hora después del desayuno, debido al reflejo duodenocólico. El movimiento en masa se caracteriza por una sucesión de acontecimientos que comienza con una onda de constricción en un sitio distendido o irritado del Colon y en seguida se contraen, casi simultáneamente unos 20 cm por debajo de dicho punto, así el contenido se ve obligado a migrar en masa hacia adelante. Pueden aparecer movimientos en masa en cualquier parte del colon, aunque son más frecuentes en el *Colon Transverso* y *Descendente* para penetrar los excrementos en el *Colon Sigmoides* y el Recto, originando los deseos de evacuar.

Secreciones. En el *Colon* la producción de moco es muy abundante y es generado por las células caliciformes. Cumple la función de lubricar el contenido intestinal, cada vez más sólido a medida que progresa y se va transformando en materia fecal y se encarga de controlar la flora intestinal. Los Electrolitos de las secreciones colónicas tienen como finalidad neutralizar la acidez del quimo ácido debido a la actividad bacteriana, que forma sustancias ácidas con gran capacidad irritante sobre las células mucosas. El electrolito más importante es el CO_3H^- en concentraciones mucho mayores que en plasma. También se secreta K^+ en forma activa por la bomba de Na^+/K^+ . El Ca^{+2} es eliminado por el *Colon* pero sin sufrir cambios, lo que llega a él se elimina.

El *Intestino Grueso* no presenta procesos digestivos sin embargo es vital para los animales herbívoros, en los que las bacterias actúan sobre la digestión de la celulosa. En el Ser Humano no hay fermentos que digieran este polisacárido, es por ello que la celulosa, la hemicelulosa y la lignina, que las personas ingieren con las verduras y frutas, quedan sin digerir y cumplen un papel estimulante de los movimientos propulsores de interés fisiológico, lo que se denomina *Efecto de Bulto*.

Flora Bacteriana. En prácticamente todo el aparato digestivo hay presencia de bacterias que establecen un equilibrio ecológico con el huésped. La composición de la flora bacteriana es variada, existen cocos y bacilos aerobios y anaerobios. También hay hongos y levaduras en equilibrio con la población bacteriana. Las bacterias del *Colon* sintetizan Vit.K y Vit.B₁₂ necesarias para complementar lo que se ingiere en la dieta porque no es suficiente. La Vit.K se utiliza para la síntesis de factores de coagulación y la Vit.B₁₂ es necesaria para la maduración de los eritrocitos.

La *fermentación* de los restos de hidratos de carbono da origen a ácidos orgánicos y compuestos volátiles e inclusive CO₂, que disminuyen el pH de la materia fecal. Cuando se producen en exceso suceden las diarreas por déficit de absorción de hidratos de carbono en el *Yeyuno Ileon*. Hay distintos tipos de aminas que son potencialmente tóxicas: histaminas, triptaminas, cadaverina, putrecina y, el principal derivado de los aminoácidos, el amoniaco. La putrefacción de los residuos proteicos, a cargo de gérmenes anaeróbicos, origina las sustancias que normalmente proporciona el olor a las deposiciones: escatol, indol, fenol, cresol.

Por acción de las bacterias la bilirrubina se transforma en estercobilinógeno, que en contacto con la atmósfera se oxida a estercobilina, pigmento que colorea las heces.

Como término medio existen en la luz intestinal de un individuo aproximadamente 100 cm³ de gases que provienen del aire ingerido en su gran mayoría: CO₂ 40%, N₂ 50%. Los gases que no provienen de la atmósfera se originan en el colon por acción de la flora bacteriana: metano, H₂, amoniaco, ácido sulfhídrico, butano, sustancias volátiles como ácido acético y butírico 10%.

Respecto a los productos que son potencialmente tóxicos, se producen en poca cantidad, la permeabilidad de la mucosa del colon es baja y en su mayoría son inactivados por el hígado.

Absorción. Diariamente atraviesan el esfínter iliocecal alrededor de 400-500 ml de quimo intestinal, semilíquido, con más del 90% de agua. En el mismo tiempo franquean el ano hacia el exterior 70-170 gr de heces semisólidas, con un 75% de agua. Con esto se deduce que una importante función del intestino grueso es la absorción de agua neta hacia la sangre de 1,7 ml.min-1. Por día se absorbe el 60% del quimo intestinal, lo que ocurre sin gasto de energía, como compensación osmótica por el intercambio iónico. Este es el principal cambio operado para la obtención de materia fecal.

ABSORCIÓN DE NUTRIENTES

Todos los alimentos que son digeridos en los distintos órganos del sistema digestivo liberan nutrientes que deben ser absorbidos por las células del intestino delgado a fin de pasar a la sangre o la linfa y ser distribuidos a los tejidos del organismo.

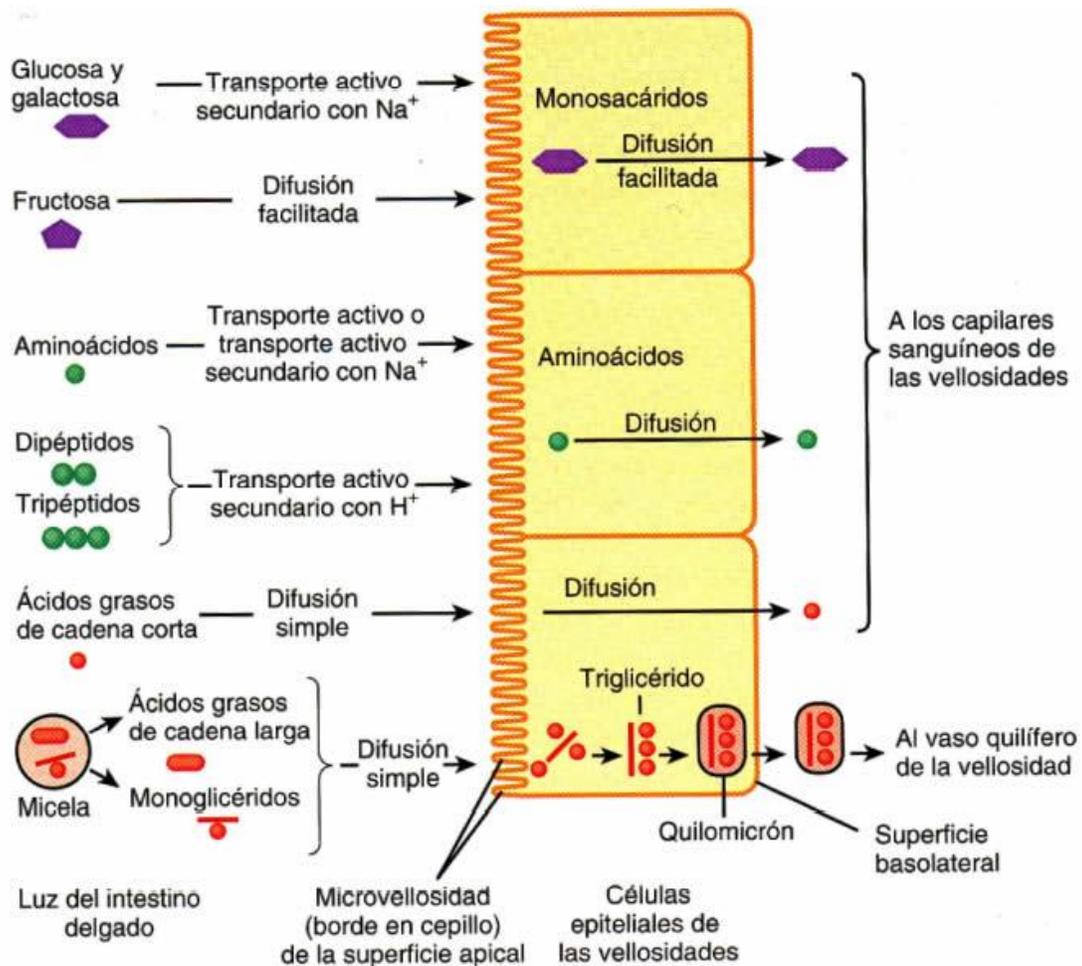


Fig.24: Mecanismos de absorción

Hidratos de Carbono. La absorción de monosacáridos es independiente de la insulina y de la glucemia y no puede explicarse por la simple difusión al interior de la célula, ya que las hexosas se absorben a velocidades completamente diferentes mientras que las pentosas lo hacen más lentamente.

El mecanismo de transporte está localizado en el *ribete en cepillo* de las células de la mucosa y requiere de movimientos simultáneos del ion Na^+ en la misma dirección. El transportador es de naturaleza proteica y transporta simultáneamente el Na^+ y el azúcar de

forma pasiva hacia el interior celular. Para que esto ocurra se debe producir el bombeo de Na^+ a través de la bomba de Na/K en el extremo basal de la misma célula, que se encarga de mantener un déficit de Na^+ manteniendo el co-transporte de monosacáridos dependiente de Na^+ . Este monosacárido que se concentra en la célula epitelial es transportado hacia el capilar sanguíneo por un transportador basal, de manera pasiva, a favor de su gradiente de concentración.

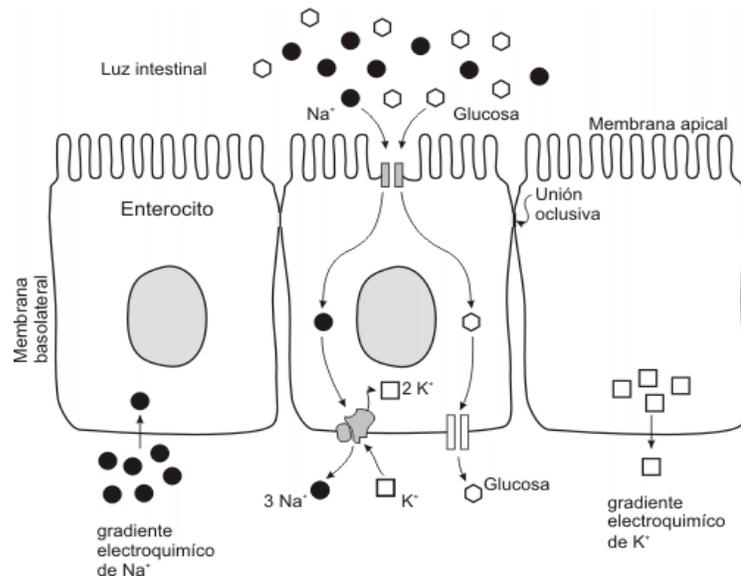


Fig.25: Absorción de monosacáridos

Proteínas. Los aminoácidos producidos por hidrólisis de las proteínas de la dieta son absorbidos en un 50-60% en el duodeno y cerca del 80% se completa en el primer tramo del yeyuno. Esta absorción es un proceso activo que requiere gasto de energía, en algunos casos en los aminoácidos de la serie L se producirá mediante un mecanismo de co-transporte dependiente de Na^+ semejante al de los hidratos de carbono. Existirían cuatro mecanismos diferentes de absorción con distinta actividad que corresponden a los tipos principales de aminoácidos: con mayor velocidad los neutros, luego le siguen los ácidos, los básicos y por último glicina, prolina e hidroxiprolina. Se sugiere que la presencia de la Vit. B_6 (fosfato de piridoxal) es necesaria para la acumulación de aminoácidos en las células.

También se produce la absorción de pequeños péptidos intactos y su posterior hidrólisis en el interior de la célula. Incluso pueden pasar a la sangre pequeños péptidos sin sufrir modificaciones en el interior de la célula.

Tanto los monosacáridos como los aminoácidos se transportarán posteriormente al otro extremo de la célula y por medio de difusión pasarán a los capilares de las microvellosidades y a la circulación sanguínea. En circunstancias especiales pequeñas cantidades de proteína pueden penetrar a través de la mucosa intestinal y pasar a la sangre. Esta absorción de oligopeptidos o pequeñas proteínas ocurre en el recién nacido, por pinocitosis. La situación estaría favorecida porque el calostro contiene una mucoproteína que es un potente inhibidor de la tripsina, lo que junto con la baja

concentración de enzimas proteolíticas podría conducir a la absorción de proteínas de magnitud suficiente como para causar la inmunización pasiva. La persistencia en adultos de un mecanismo semejante podría ser el origen de ciertas alergias alimentarias, por ej. Con las proteínas de la leche o del huevo.

Lípidos. Si bien la hidrólisis completa de los triglicéridos no es requerida para su absorción, si lo es la presencia de sales biliares. Aparentemente solo en presencia de una concentración suficiente de sales biliares las micelas pueden llegar a presentar un diámetro suficientemente pequeño como para difundir hacia los sitios de absorción; en donde se produce la absorción selectiva del contenido de la micela. Los ácidos grasos de cadena corta, menos de 10 átomos de C, salen de la célula y son transportados directamente por la vena porta al hígado. Los ácidos grasos de cadena larga, mas de 10 átomos de C, son activados dentro de la célula por *Tioquinasas*, en presencia de ATP y CoA para dar acil-CoA. Estos, con los 2-monoglicéridos resintetizan triglicéridos y junto

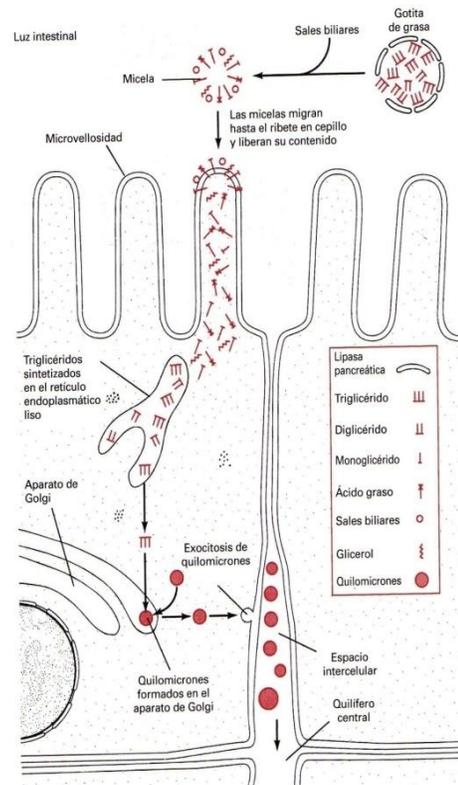


Fig.26: Absorción de lípidos al capilar linfático

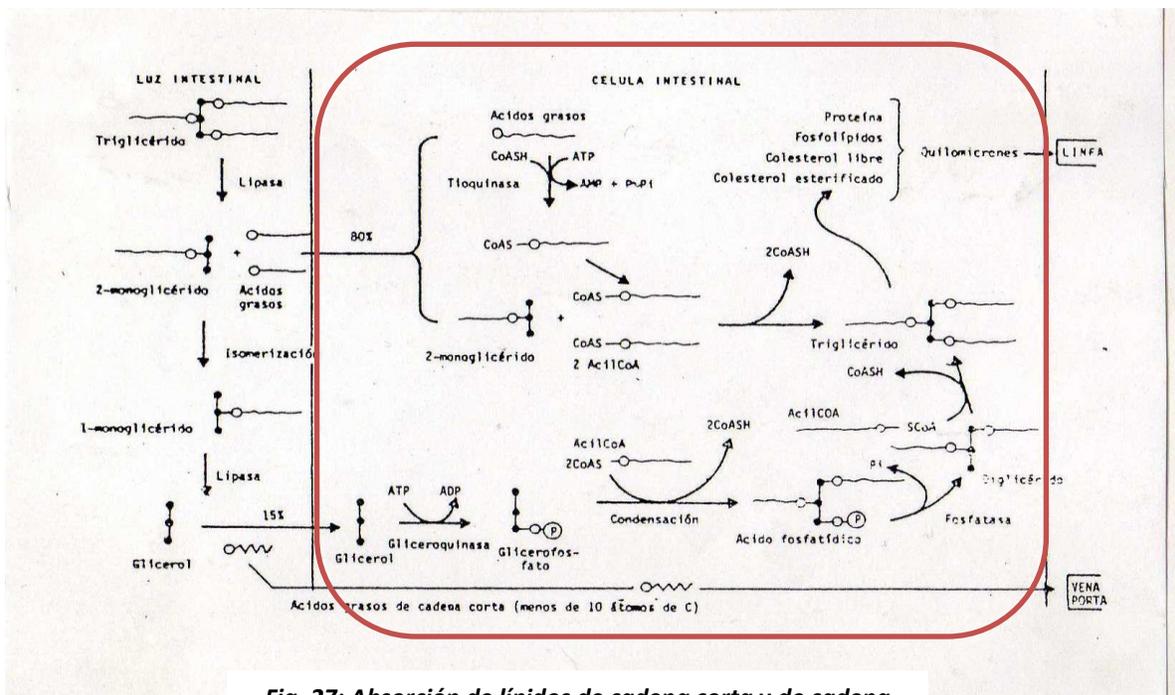


Fig. 27: Absorción de lípidos de cadena corta y de cadena larga. Síntesis de quilomicrón.

con el colesterol, los fosfolípidos y proteínas forman *Quilomicrones*, que son transferidos desde el polo lateral de la célula hacia la linfa del quilífero por exocitosis.

3.10 VARIANTES DE SISTEMAS DIGESTIVOS

Las formas más simples de vida animal engloban mediante endocitosis los alimentos y producen digestión intracelular con ácidos y enzimas digestivas. En animales más complejos aparece la digestión extracelular en la cual ocurren diferentes tratamientos mecánicos, químicos y bacterianos necesarios para favorecer la absorción de los nutrientes al sistema circulatorio. Esta ha sido una innovación evolutiva muy importante que ha liberado a los organismos de las necesidades de alimentación continua.

La organización tubular general de los distintos sistemas digestivos es eficiente porque permite que el alimento lo atraviese en una dirección, pasando por las distintas regiones de especialización digestiva. En general los tubos digestivos tienen cuatro divisiones importantes: 1) *Recepción*, 2) *Conducción y almacenamiento*, 3) *Digestión y absorción de nutrientes* y 4) *Absorción de agua y defecación*.

1) La *región receptora* consta de las piezas bucales y estructuras asociadas, picos, dientes, lengua y glándulas salivales.

2) La *región conductora y de almacenamiento* estaría constituida por el esófago y en algunos animales presenta una sección ensanchada en forma de saco, el buche; relacionado con el modo de vida del animal, que incluye una alimentación esporádica: permite que se depositen ciertas cantidades de alimento que se ingerirá posteriormente.

El buche se utiliza para remojo y humectación del alimento, también para fermentar o digerir alimentos que no se destinan a una inmediata utilización. Las aves que crían preparan el alimento de esta manera para regurgitarlo a sus crías.

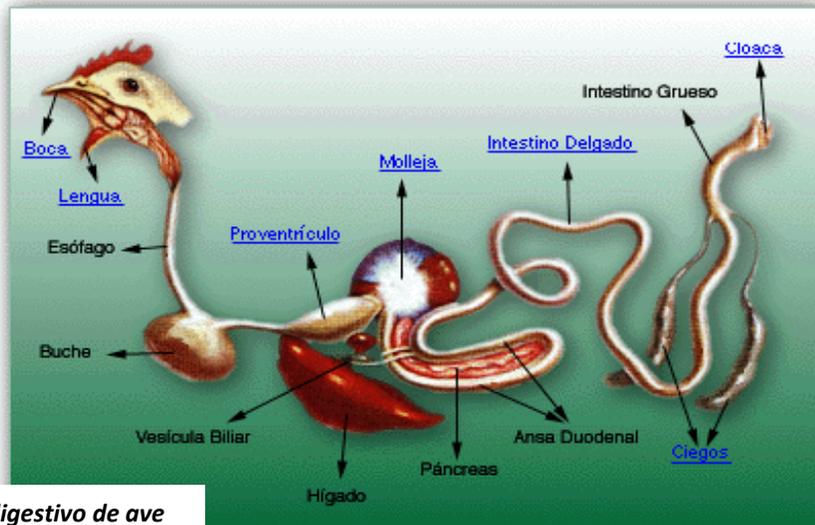


Fig. 28: Sistema digestivo de ave

3) La *región digestiva* en la mayoría de los vertebrados y algunos invertebrados, se ha dividido en dos grandes secciones, el estómago y el intestino. El mecanismo de trituración se consigue de diferentes formas, en un tubo musculoso, típico de los vertebrados, en el que se mezcla el contenido con los jugos digestivos. En algunos invertebrados (insectos) hay expansiones denominadas ciegos gástricos que contienen células secretoras de enzimas y células fagocíticas. Algunas aves tienen una molleja musculosa y desarrollada, tragan arena o piedritas que alojan en la molleja y ayudan a la trituración de las semillas y granos. El proventrículo en insectos y el estómago de los crustáceos decápodos contienen aparatos de trituración para degradar mecánicamente el alimento. En los mamíferos herbívoros la dieta consiste esencialmente en celulosa, para ello cuentan con la asociación simbiótica de microorganismos capaces de digerir la celulosa. En función de la ubicación de la cámara fermentadora los herbívoros se pueden clasificar como Rumiantes, con cámara fermentadora anterior y No rumiantes, con cámara fermentadora posterior.

Rumiantes. Son aquellos animales que poseen un estómago dividido en varias cámaras (multicamerado) o podría decirse que el verdadero estómago digestivo está precedido por grandes compartimentos: el *rumen* o panza, el *retículo* o redcilla, el *omaso* o libro y el *abomaso* o cuajar. Entre ellos encontramos las vacas, ovejas, alces, jirafas y ciervos. Además de los rumiantes, los *Tilópodos*; camellos, vicuñas, llamas y alpacas, también realizan la rumia y presentan un estómago bicamerado. El rumen sirve como un gran tanque de fermentación en el cual el alimento mezclado con saliva sufre una fuerte fermentación. Las bacterias y protozoos ciliados presentes en grandes cantidades son los responsables de la degradación de la celulosa. Entre ellos encontramos bacterias de los géneros *Ruminococcus*, *Bacterioides* y *Methanobacterium*. Los productos de la fermentación son ácidos orgánicos volátiles como: acético, propiónico y butírico y son absorbidos y utilizados por el animal; mientras que el CO₂ y el metano son eliminados por medio de eructos. La rumia consiste en la regurgitación y remasticación del material fibroso no digerido. Al volver a entrar nuevamente en el rumen el alimento sufre una nueva fermentación. La abundante saliva sirve para tamponar los ácidos orgánicos producidos por la fermentación. Las vacas, por ej, producen entre 100 y 190 litros de saliva por día. Además de poseer gran actividad celulásica los organismos del rumen pueden sintetizar proteínas a partir de compuestos inorgánicos de N, tales como sales de amonio. Esto es particularmente útil ya que productos que normalmente son de excreción, como la urea, se pueden

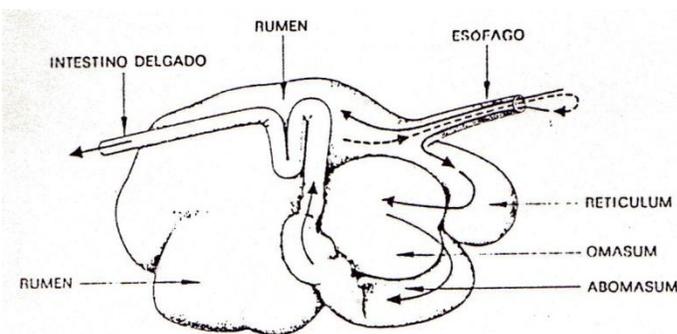


Fig. 29: Estómago multicamerado de rumiante

ser reutilizados. Esto es particularmente útil ya que productos que normalmente son de excreción, como la urea, se pueden

utilizar para sintetizar proteínas, por ej para la leche en las vacas. Frente a una alimentación de escasa calidad, esta producción es muy valiosa ya que se ha comprobado que estos animales no excretan nada de urea en orina sino que la aprovechan en el rumen, hidrolizándola en CO_2 y amoníaco, que es utilizado para la síntesis de proteínas de alta calidad, ya que los microorganismos pueden sintetizar todos los aminoácidos esenciales. También son importantes las vitaminas, varias del grupo B, sintetizadas por lo microorganismos del rumen.

Herbívoros no rumiantes. Hay otros mamíferos herbívoros, no rumiantes, que también son ayudados por microorganismos en la digestión de la celulosa. Así tenemos los Perisodactilos (caballos), roedores, perezosos y algunos marsupiales que tienen estómagos semejantes al rumen. La fermentación microbiana ocurre en el ciego, que llega a ser un gran divertículo del intestino y tiene una similitud considerable a la fermentación del rumen, pero con algunas desventajas. Por ej. no tiene posibilidad de ser regurgitado el alimento para una masticación más acabada y ocurre luego del trayecto gastrointestinal, por lo que no se favorece una máxima absorción de los nutrientes. En las heces de los caballos se pueden encontrar fragmentos de comida intactos.

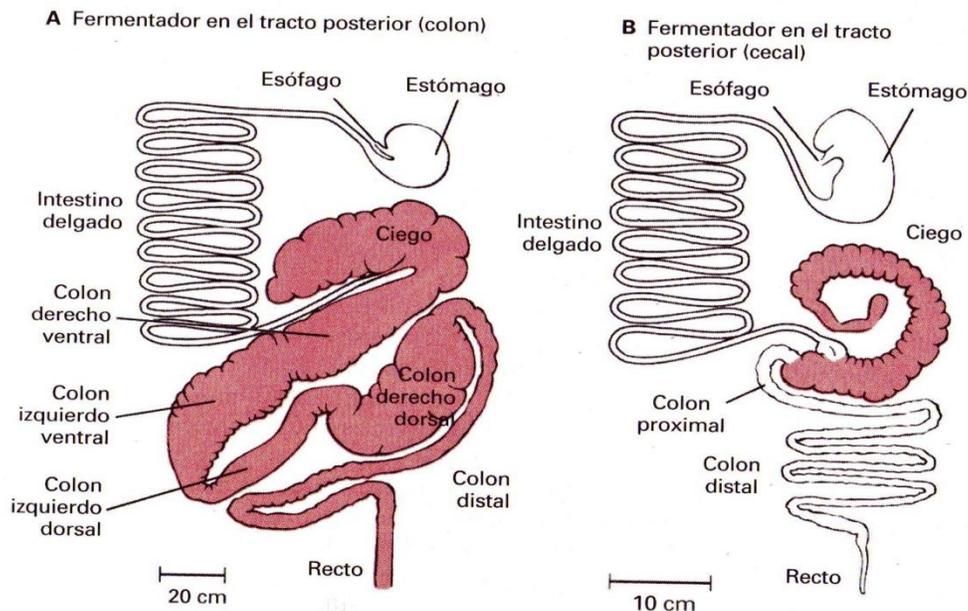


Fig. 30: Sistema digestivo de animales No-rumiantes.

A) caballos, hipopótamos, elefantes y B) conejos, liebres, Zarigüeyas

Una forma de resolver este inconveniente ha sido resultado por los roedores mediante la *Coprofagia*. Roedores y Lagomorfos reingieren sus heces haciendo que pasen dos veces por el sistema digestivo. En ellos se diferencian dos tipos de heces, las que son eliminadas por primera vez son blandas, grandes y ligeras, en cambio luego de una segunda digestión se eliminan las heces definitivas que son más oscuras, resistentes y secas. Si se evita la coprofagia aparecen deficiencias de Vit. K y biotina; disminuye el crecimiento del animal en un 15-25 %; se afecta el aprovechamiento de las proteínas y la digestibilidad del alimento. Estas heces reingeridas no son masticadas sino que tienden a alojarse separadamente en la región fúndica del estómago, son recubiertas con una membrana que las aísla del resto del contenido gástrico y continúan fermentando en el estómago durante muchas horas.

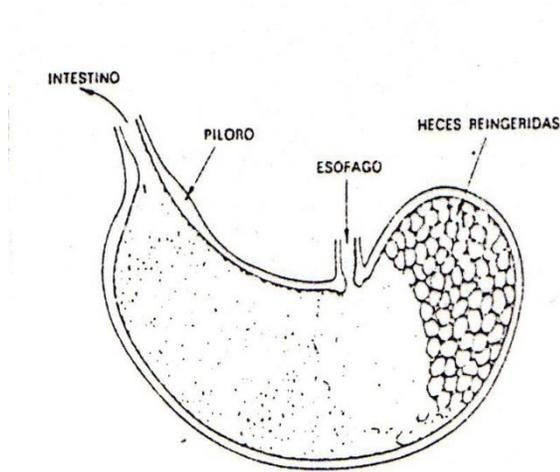


Fig. 31: Estómago de liebre.

4) La última región es considerada de *Absorción de agua y defecación*. La salida continua de materia fecal a través del ano es evitada por la constricción de los esfínteres anal interno y externo. De ordinario la evacuación resulta del reflejo de defecación, que ocurre cuando las heces penetran en el Recto y distienden sus paredes, provocando ondas peristálticas que, en el ano, inhiben la contracción del esfínter anal interno, de control involuntario (Sistema Parasimpático). Si el esfínter anal externo se relaja, ocurre la evacuación de la materia fecal. Sin embargo este reflejo por sí mismo es muy débil y necesita de otro reflejo proveniente del sector sacro, de la médula espinal, para aumentar su intensidad, el reflejo parasimpático de la defecación.

Las personas podemos evitar la defecación controlando voluntariamente el esfínter anal externo, que depende del Sistema N. de la Vida de Relación, lo que hace desaparecer el reflejo de la evacuación en unos minutos. En el recién nacido o en una persona que tiene lesionada la médula espinal baja, el reflejo de la evacuación origina el vaciamiento automático de la parte baja del intestino, sin el control del esfínter anal externo.

La serie de mecanismos que se activan en respuesta al estímulo de la evacuación, entre ellos el Movimiento de Valsalva, por el cual se realiza una inspiración profunda y luego una espiración sostenida con cierre de la glotis, que contrae el diafragma. Esto va

acompañado de la contracción de los músculos de la pared abdominal para impulsar el contenido del colon hacia el recto, al tiempo que el suelo de la pelvis desciende, se relaja y empuja hacia afuera el anillo anal para expulsar las heces.

Cuando una persona considera que el momento es adecuado para evacuar las heces puede excitar el reflejo tomando una inspiración profunda para mover el diafragma hacia abajo y contraer entonces los músculos abdominales, con lo que aumenta la presión intraabdominal y el contenido fecal se desplaza al recto, desencadenando nuevos reflejos. Los reflejos iniciados de esta forma no son casi nunca tan potentes como los naturales, razón por la cual las personas que inhiben con demasiada frecuencia los reflejos naturales muestran propensión a un estreñimiento grave.

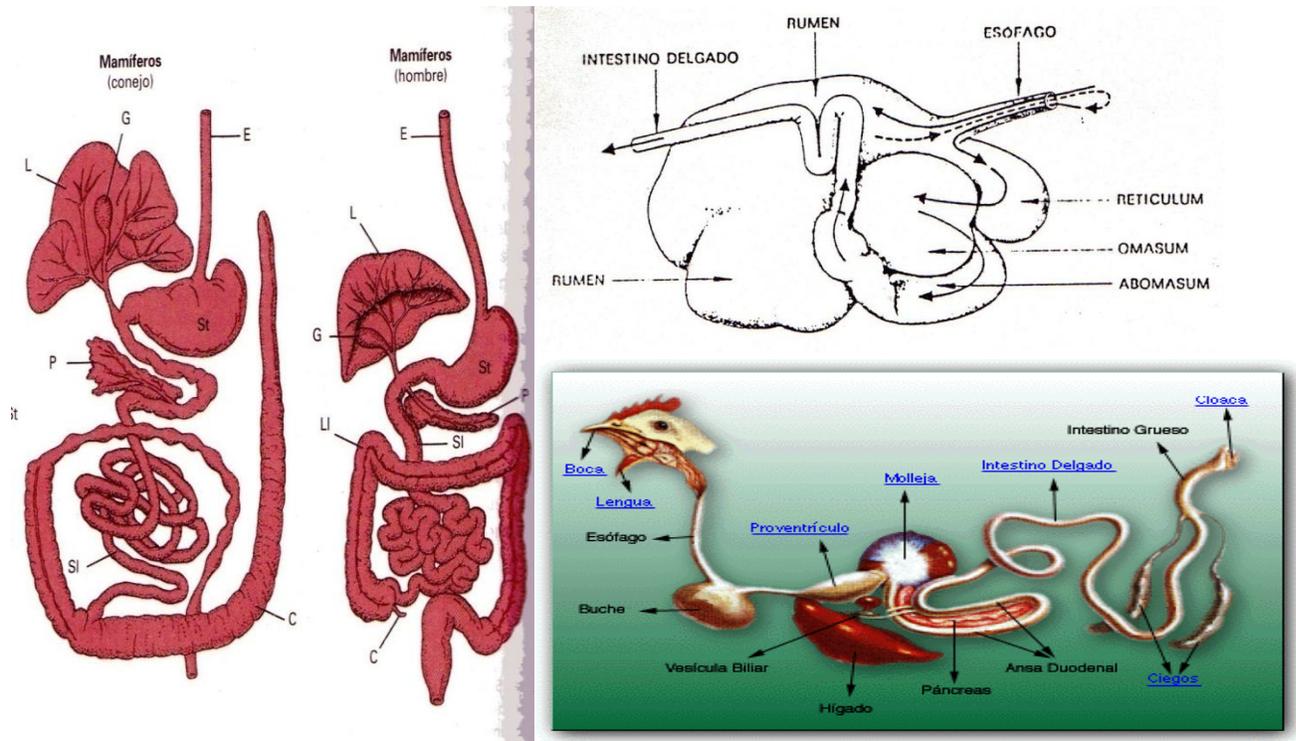
BIBLIOGRAFIA

Randall, D.; Burggren, W. & French, K. 2002. Eckert. Fisiología Animal. Mecanismos y adaptaciones. Interamericana- Mc Graw Hill- 4ta Edición. 790Ppp.

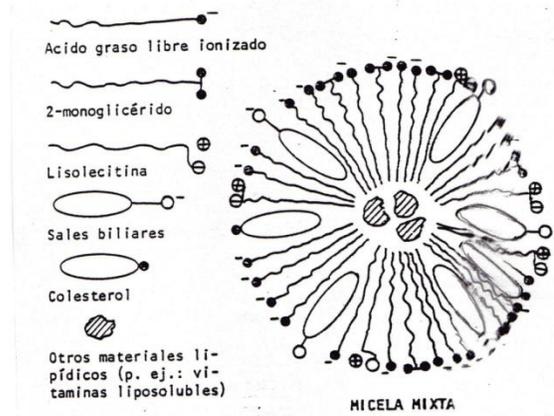
Guyton, A.C. & Hall, J.E. 2001. Tratado de Fisiología Médica. Interamericana-Mc Graw Hill- 10ma Edición. 1280pp.

ACTIVIDADES

- 1- Distingue entre *Digestión*, *Absorción*, *Asimilación* y *Nutrición*.
- 2- Menciona las diferencias que se aprecian en estos aparatos digestivos y que finalidad tienen en el proceso digestivo del animal.



- 3- Se presenta una micela biliar mixta, identifica de dónde provienen los elementos que la componen y cuál es la finalidad de esta estructura.



- 4- Elabora un cuadro en el que consideres, para cada órgano del sistema digestivo:
- ¿Qué sustancias produce?
 - ¿Qué actividad o función tiene?
 - Sobre qué sustancias actúan sus productos.

- 5- Observa el siguiente gráfico y describe qué tipo de transporte de membrana se utiliza para la absorción de cada nutriente, desde la luz del intestino delgado hasta la luz del capilar sanguíneo.

