

## TEMA 9 (clase 10)

### I. DIGESTIÓN

- 1.1 Química de los alimentos
- 1.2 Concepto. Hidrólisis
- 1.3 Jugos digestivos

### II. DIGESTIÓN DE HIDRATOS DE CARBONO

- 2.1 Carbohidratos de la dieta
- 2.2 Digestión de carbohidratos en Boca- estómago. Amilasa salival
- 2.3 Digestión de carbohidratos en Intestino delgado.
  - 2.3.1 Amilasa pancreática (luz).
  - 2.3.2 Oligosacaridasas (orla en cepillo memb.apical de enterocitos)
- 2.4. Déficit de oligosacaridasas. Diarrea por déficit de lactasa.

### III. DIGESTIÓN DE PROTEÍNAS

- 3.1. Digestión de proteínas en Estómago. Pepsina
- 3.2. Digestión de proteínas en Intestino delgado
  - 3.2.1 Enzimas pancreáticas (luz)
  - 3.2.2 Enzimas en la orla en cepillo (membrana de enterocitos)
  - 3.2.3 Enzimas intracelulares (citoplasma enterocitos)
- 3.3 “Canibalismo”

### IV DIGESTIÓN DE GRASAS

- 4.1 Grasas de la dieta
- 4.2 Digestión
  - 4.2.1 Emulsificación. Agitación y papel de las sales biliares
  - 4.2.2 Hidrólisis-Digestión
    - 4.2.2.1 Estómago: lipasa bucal y gástrica 10-30%
    - 4.2.2.2 Intestino delgado
      - Lipasa pancreática 70-90%,
      - Colipasa, esterasa del colesterol, FLA2
      - Lipasa pancreática dependiente de sales biliares.
    - 4.2.3 Solubilización. Transporte. Formación de micelas mixtas SB-lípidos.
  - 4.3 Esteatorrea. Definición y causas.

### V. DIGESTIÓN DE ÁCIDOS NUCLEICOS

- 5.1 Enzimas pancreáticas y de membrana apical enterocitos

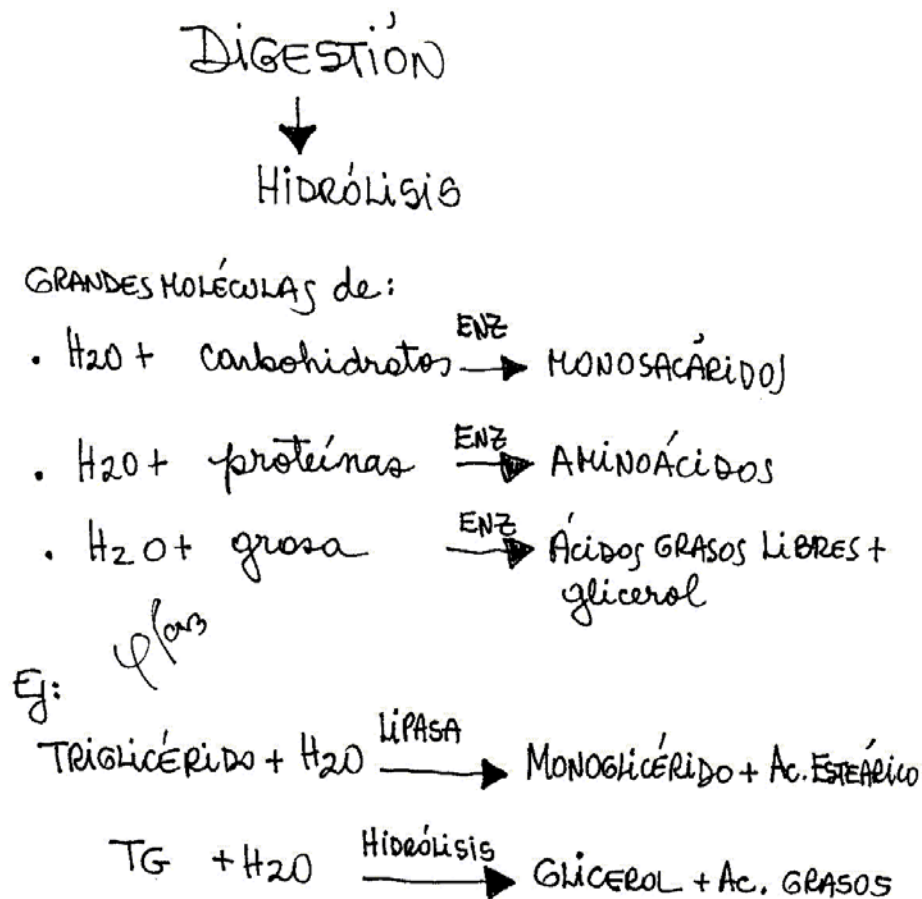


**Fig. 9.1 HORMONAS Y SECRECIONES DIGESTIVAS.** Del estómago la gastrina aumenta la secreción ácida y motilidad gástricas. Luego el quimo ácido hace secretar las hormonas colecistoquinina (CCK) y la secretina que van a favorecer la secreción de bilis alcalina con sales biliares necesarias para la digestión y absorción de grasas, y de jugo pancreático rico en enzimas necesarias para la digestión de proteínas, carbohidratos y grasas.

## Jugos Digestivos

- A. SALIVA :  $\alpha$  AMILASA o PTIALINA  
LIPASA BUCAL
- B. JUGO GÁSTRICO : LIPASA GÁSTRICA  
PEPSINA
- C. JUGO PANCREÁTICO :  $\alpha$  AMILASA  
LIPASA  
TRIPSINA  
QUINOTRIPSINA  
ELASTASA  
CARBOXIPEPTIDASA
- D. SECRECIÓN INTESTINAL : CÉLULAS INTESTINALES DESCAMADAS  
CON ENZIMAS: PEPTIDASAS y  
DISACARIDASAS
- E. SECRECIÓN BILIAR : SIN ENZIMAS pero con SALES BILIARES

**Fig. 9.2 JUGOS DIGESTIVOS SECRETADOS A LO LARGO DEL TRACTO GASTROINTESTINAL.** Desde la boca con la saliva que contiene enzimas para digestión de carbohidratos y lípidos , luego el estómago que tiene la pepsina que digiere proteínas, luego las secreciones pancreáticas vertidas en el duodeno con una cantidad de potentes enzimas para digerir proteínas, carbohidratos y grasas, luego las enzimas que están en la superficie de las células intestinales para terminar la digestión de carbohidratos y proteínas, y finalmente la secreción biliar necesaria para la emulsificación de las grasas y formación de micelas para el transporte de las grasas para su absorción



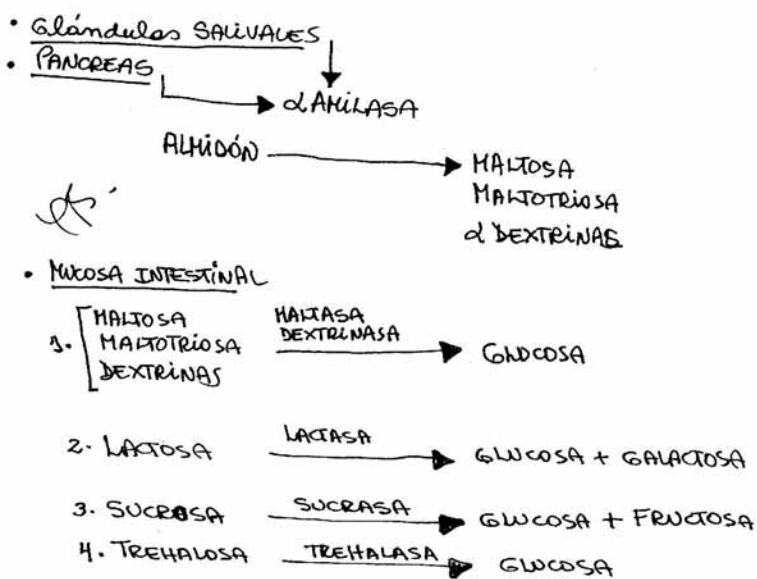
**Fig. 9.3. DIGESTIÓN.** Consiste en la conversión de grandes moléculas de nutrientes en una pequeñas que sean posibles de absorber. Desde el punto de vista químico la digestión consiste en una hidrólisis, se introduce una molécula de agua para romper enlaces en las grandes moléculas por acción de enzimas específicas.

1.  $\alpha$  AMILASA *gl. salivares, act. en  $\text{Cl}^-$*   
 Mucosa de 1-4  
 Sustrato: almidón.  
 producto:  $\left\{ \begin{array}{l} \alpha \text{ dextrinas} \\ \text{maltotriosa} \\ \text{maltosa} \end{array} \right.$
2. AMILASA PANCREÁTICA: *pancreas, act. en  $\text{Cl}^-$*   
 Mucosa de 1-4  
 Sustrato: almidón.  
 producto:  $\left\{ \begin{array}{l} \alpha \text{ dextrinas, maltotriosa} \\ \text{maltosa} \end{array} \right.$
3. MALTASA: *mucosa intestinal*  
 Sustrato: Maltosa, Maltotriosa, dextrinas  
 producto: GLUCOSA
4. LACTASA: *mucosa intestinal*  
 Sustrato: Lactosa  
 producto: GLUCOSA + GALACTOSA
5. SUCRASA / SACARASA: *mucosa intestinal*  
 Sustrato: Suerosa o Sacarosa  
 producto: GLUCOSA + FRUCTOSA
6.  $\alpha$  DEXTRINASA: *mucosa intestinal*  
 Mucosa de 1-6  
 Sustrato: dextrinas, maltosa, maltotriosa  
 producto: GLUCOSA
7. TREHALASA: *Sustrato Trehalosa. Producto: GLUCOSA*

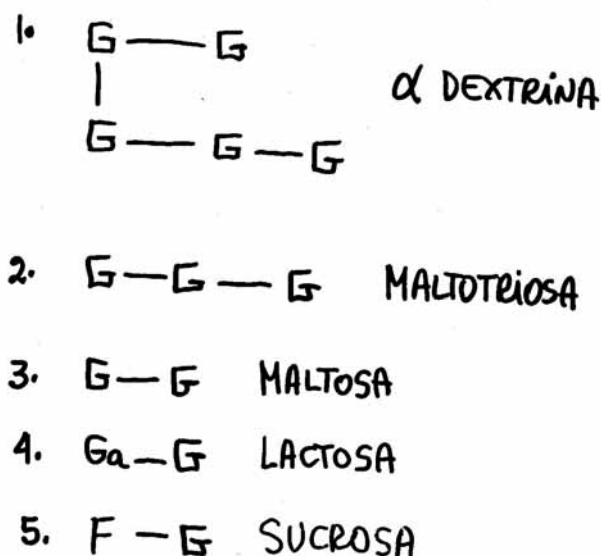
**Fig. 9. 4 ENZIMAS PARA LA DIGESTIÓN DE LOS CARBOHIDRATOS.**

Diferentes enzimas procedentes desde las glándulas salivales que vierte la saliva en la boca con alfa amilasa o ptialina, luego la potente amilasa pancreática, y las diferentes enzimas de la mucosa intestinal para la degradación de los pequeños polisacáridos y disacáridos, para terminar en pequeñas moléculas de monosacáridos: glucosa, galactosa y fructuosa que se pueden absorber en la mucosa intestinal.

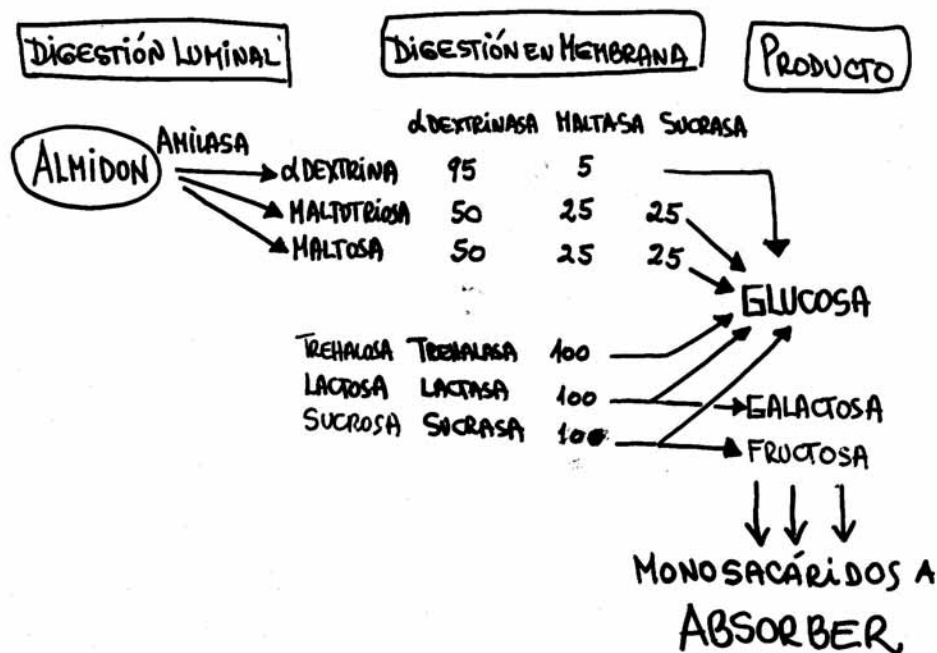
### DIGESTIÓN DE CARBOHIDRATOS



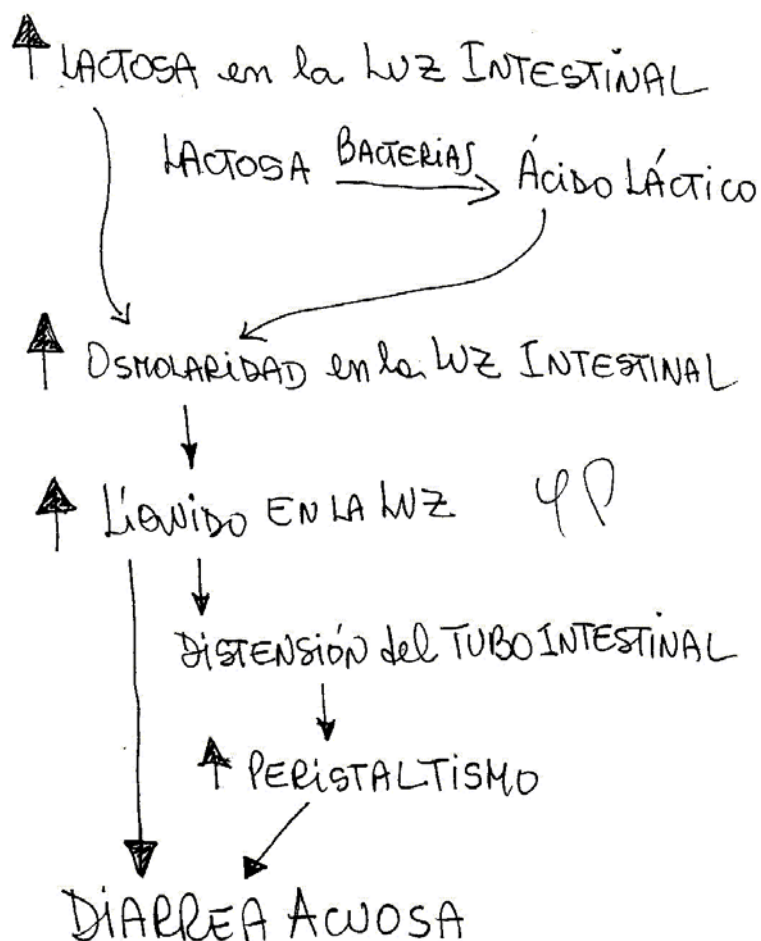
**Fig. 9.5 DIGESTIÓN DE CARBOHIDRATOS.** Gracias a las enzimas amilasas salival y pancreática los grandes polisacáridos se convierten en pequeños polímeros, trisacáridos y disacáridos que son terminados de digerir por acción de enzimas de la mucosa intestinal lactasa, sacarasa, maltasa, dextrinasa y trehalosa para tener finalmente los monosacáridos: glucosa, fructosa y galactosa listos para ser absorbidos.



**Fig. 9.6 PRODUCTOS DE DIGESTIÓN DE CARBOHIDRATOS EN LA LUZ INTESTINAL.** Son polímeros de 3 a 5 moléculas de glucosa que serán digeridos por alfa dextrinasas y por disacaridasas: maltasa, lactasa y sucraza o sacarasa para convertirlos en monosacáridos.



**Fig. 9.7 DIGESTION FINAL DE CARBOHIDRATOS.** Se muestra todo el proceso de digestión de una molécula grande polisacárido de almidón hasta convertirse en monosacáridos para absorber.



**Fig.9.8 DIARREA OSMÓTICA POR DÉFICIT DE LACTOSA.** Cuando no hay enzima suficiente para digerir la lactosa, estos disacáridos se acumulan en la luz intestinal y como son partículas osmóticamente activas llevan aun aumento de osmolaridad en el intestino por encima de la osmolaridad plasmática, además la lactosa es metabolizada por bacterias a ácido láctico que aumenta aún más la osmolaridad. Esto lleva a que pase líquido a la luz intestinal llevando a distensión del intestino, que es estímulo para desencadenar aumento del peristaltismo lo que termina en la producción de una diarrea osmótica. Esto se corrige con evitar el consumo de lácteos o tomar la lactasa junto con lácteos

- ESTÓMAGO**

1. PEPSINA: 15%. estómago, actondr HCl.  
 Sustrato: proteínas, polipeptido  
 producto: clava enlaces peptídicos adyacente a aa aromáticos (Tyr, Phe, Trp)
- PÁNCREAS**

2. TRIPSINA: páncreas, actondr ENTEROPEPTIDASA  
 Sustrato: proteínas, polipeptido  
 producto: clava enlaces peptídicos en todo carboxílico de aa básicos (Arg, Lys)

3. QUINÓTRIPSINA: páncreas, actondr TRIPSINA.  
 Sustrato: proteínas, polipeptido  
 producto: clava enlaces peptídicos en todo carboxílico de aa aromáticos

4. ELASTASA: páncreas, actondr TRIPSINA  
 Sustrato: elastina, otras proteínas  
 producto: clava enlaces en todo carboxílico de aa alifáticos

5. CARBOXIPEPTIDASA A: páncreas, actondr TRIPSINA  
 Sustrato: proteínas y péptidos  
 producto: clava aa carboxil terminal que tienen cadenas aromáticas o alifáticas

6. CARBOXIPEPTIDASA B: páncreas, actondr TRIPSINA  
 producto: clava aa carboxil terminal que tienen cadenas básicas
- MUCOSA INTES.**

7. ENTEROPEPTIDASA: mucosa intestinal  
 Sustrato: TRIPSINOGENO  
 producto: TRIPSINA
- MUCOSA INT.**

8. AMINOPEPTIDASAS: mucosa intestinal  
 Sustrato: polipeptido  
 producto: clava el N terminal del péptido

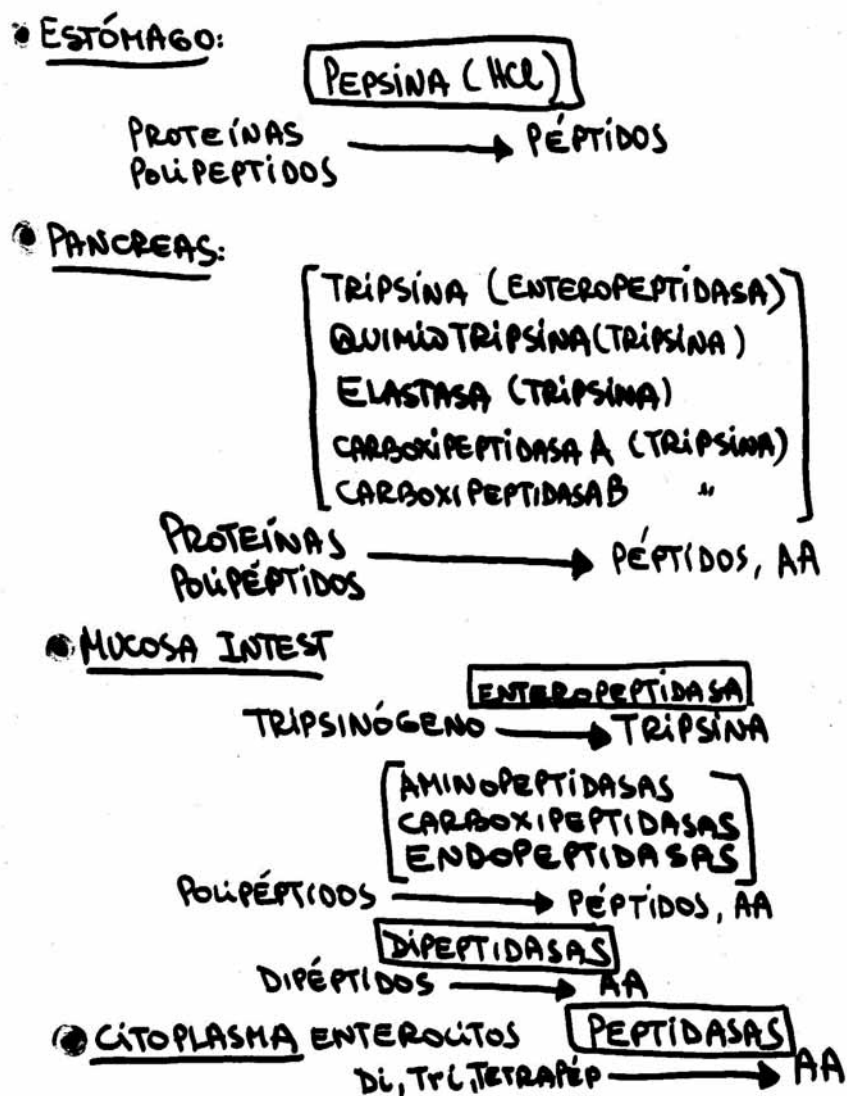
9. CARBOXIPEPTIDASAS: mucosa intestinal  
 Sustrato: polipeptido  
 producto: clava el C terminal del péptido

10. ENDOPEPTIDASAS: mucosa intestinal  
 Sustrato: Polipeptidos  
 producto: clava entre residuos en la porción media del péptido

11. DIPEPTIDASAS: mucosa intestinal  
 Sustrato: dipéptidos  
 producto: dos aa

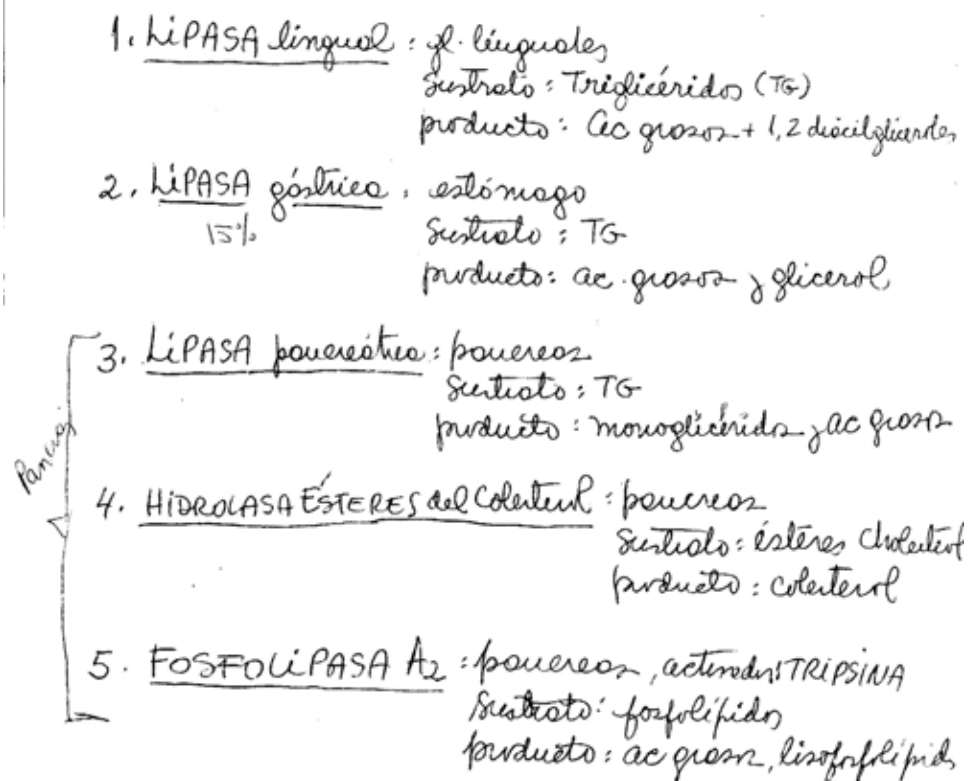
12. PEPTIDASAS diversas: Citoplasma de enterocitos  
 Sustrato: di, tri, tetra péptidos  
 producto: aminoácidos

**Fig. 9.9 ENZIMAS PARA LA DIGESTIÓN DE PROTEÍNAS.** Enzimas del estómago, páncreas, luz intestinal, mucosa intestinal y de dentro del citoplasma de los enterocitos, llevan las proteínas hasta las unidades absorbibles que son los aminoácidos.

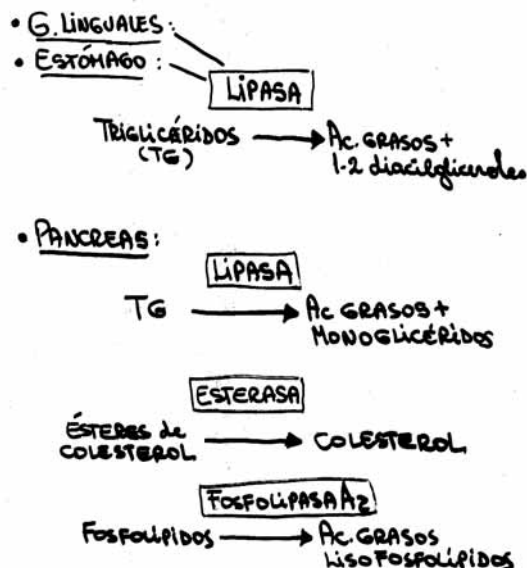


**Fig. 9.10 DIGESTIÓN DE PROTEÍNAS.** Comienza en el estómago con la pepsina, luego en la luz del intestino delgado por acción de varias enzimas pancreáticas poderosas que son endo y exopeptidasas que van a romper los enlaces peptídicos en distintos sitios y entre diferentes aminoácidos, luego continúa la digestión de pequeños péptidos por acción de enzimas de la mucosa intestinal y aun por enzimas dentro del citoplasma de los enterocitos.

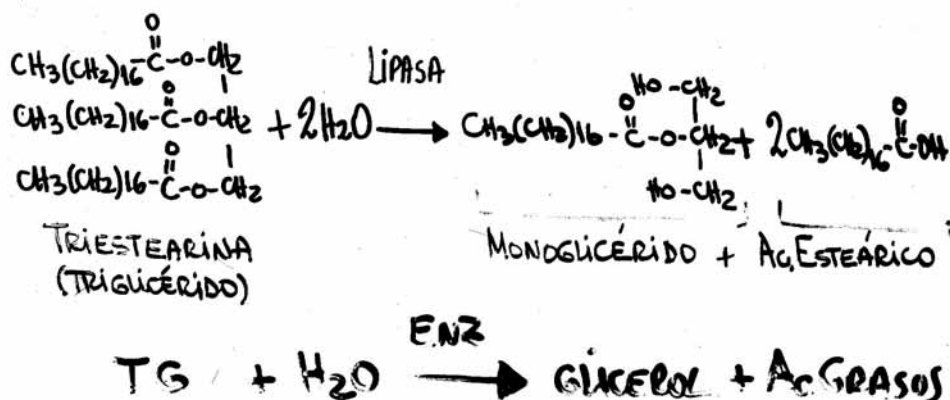




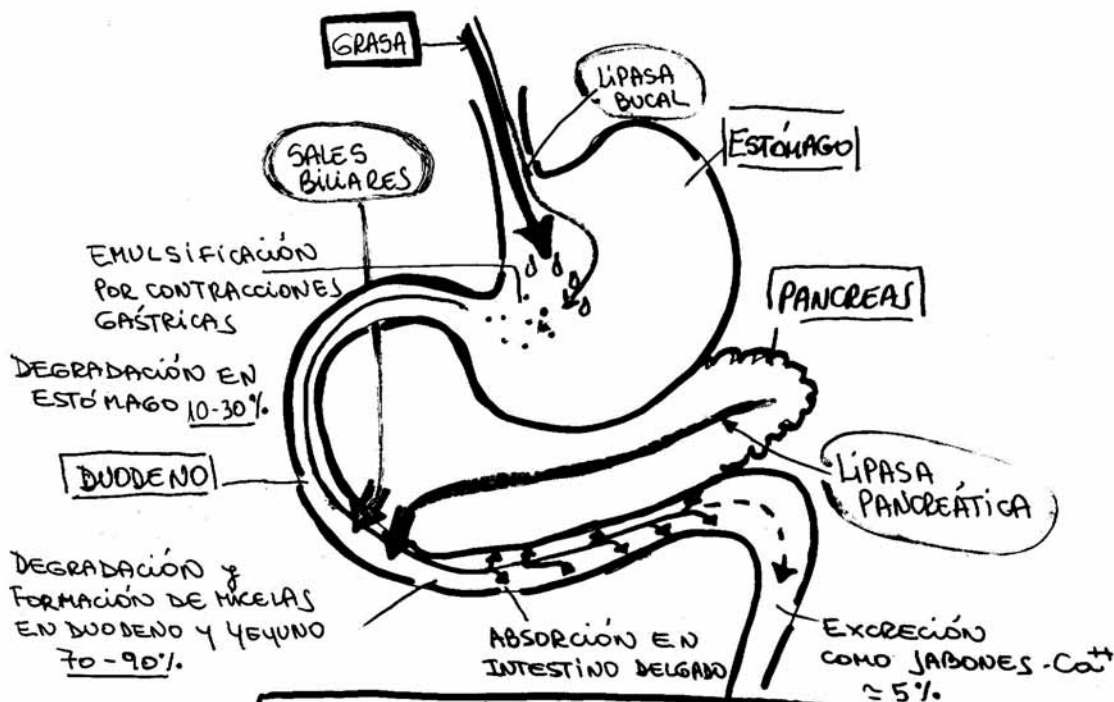
**Fig. 9.11 ENZIMAS PARA LA DIGESTIÓN DE GRASAS.** Comprenden las enzimas de la mucosa lingual, y gástrica pero estas digieren un porcentaje menor de grasas. Las enzimas más importantes son las pancreáticas que están en la luz del intestino para digerir triglicéridos, ésteres del colesterol y fosfolípidos.



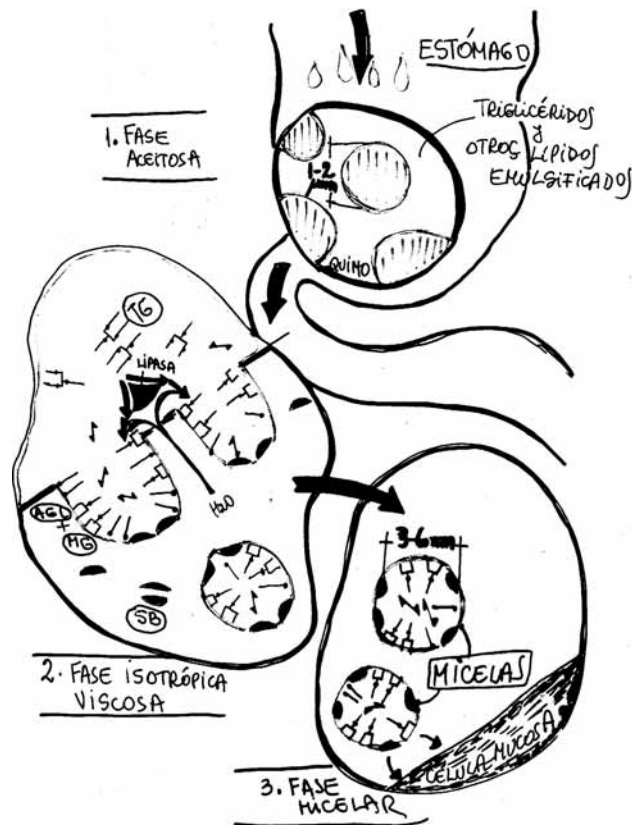
**Fig. 9.12 DIGESTIÓN DE LAS GRASAS.** La digestión de las grasas además de las enzimas necesitan de la acción emulsificante de los movimientos gástricos y de las sales biliares contenidas en la bilis, las cuales van a formar micelas para transportar los lípidos digeridos a la mucosa intestinal para ser absorbidos.



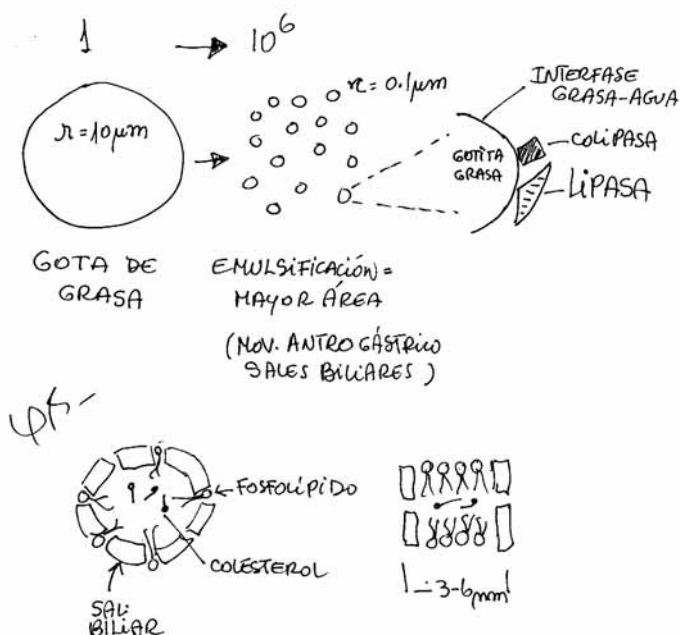
**Fig. 9.13 DIGESTIÓN DE UN TRIGLICÉRIDO (TG).** La digestión de un triglicérido, en este caso una molécula de triestearina, ocurre por la acción de la lipasa que hidroliza la molécula TG al meter una molécula de agua y convertida en una molécula de monoglicérido y ácidos grasos que pueden absorberse.



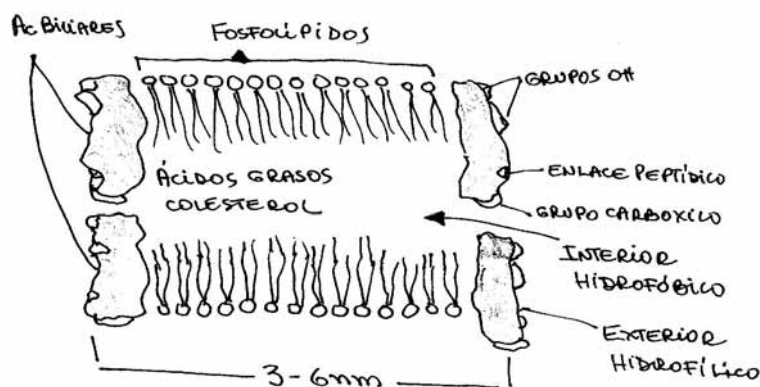
**Fig. 9.14 DIGESTIÓN Y ABSORCIÓN DE LAS GRASAS A LO LARGO DEL TRACTO GI.** Aquí se muestra de manera resumida el proceso de digestión y absorción de las grasas en el TGI. En el estómago las lipasas bucal y gástrica digieren parcialmente las grasas, por acción de las fuertes contracciones del antro estas grasas se emulsifican, y luego pasar al duodeno donde por acción de la lipasa pancreática continúan su digestión. Las sales biliares de la secreción biliar en el duodeno forman micelas que van a servir para transportar lípidos.



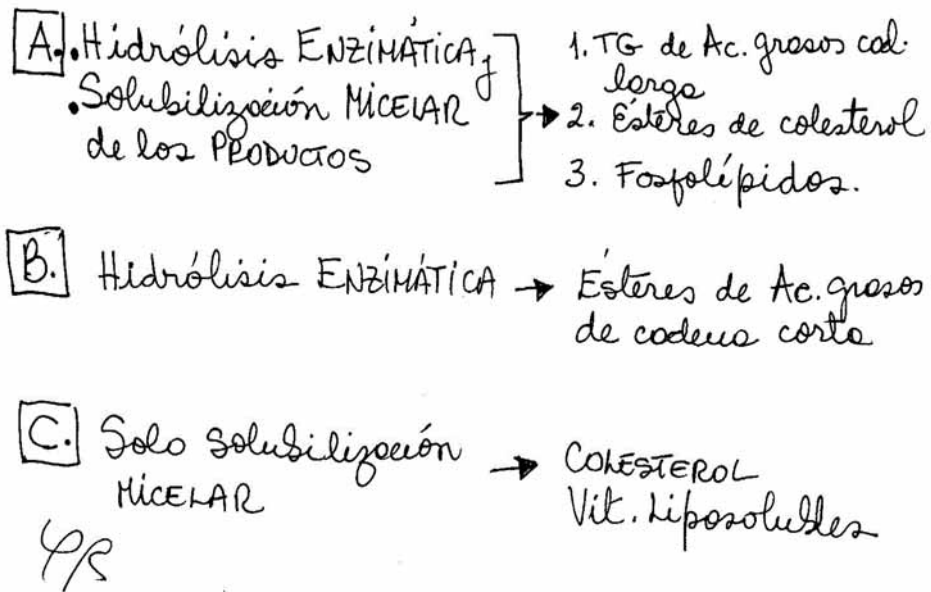
**Fig. 9.15 FASES DE LA DIGESTIÓN Y ABSORCIÓN DE LAS GRASAS.** En el estómago comienza la emulsificación de las grasas, que consiste en que se convierten de gotas grandes de grasa en pequeñas gotitas aumentando el área de superficie sin aumentar el volumen total, esto da más área de acción para la lipasa. La enzima actúa en la interfase agua aceite y convierte los triglicéridos a monoglicéridos y ácidos grasos libres y las sales biliares que están en el duodeno al pasar por encima de un punto de concentración crítico forman micelas espontáneamente. Las sales biliares son moléculas anfipáticas, tienen un lado polar hidrofílico y otro hidrofóbico, forman vesículas con el centro hidrofóbico donde transportan los lípidos insolubles como el colesterol y en la pared transportan fosfolípidos que tiene un polo hidrofílico hacia fuera y otro hidrofóbico hacia adentro. Las micelas son vesículas mucho más pequeñas (nm) que las gotitas de grasa emulsificada ( $\mu\text{m}$ ) y acercan los lípidos que transportan a la membrana celular de los enterocitos para que sean absorbidos. Las grasas para absorberse deben ser emulsificadas, hidrolizadas y solubilizadas.



**Fig. 9.16 EMULSIFICACIÓN , HIDROLIZACIÓN Y SOLUBILIZACIÓN DE GRASAS.** Para poder absorber las grasas necesitan pasar por estos procesos. La emulsificación comienza en el antro gástrico gracias a las fuertes contracciones de mezcla ayudadas luego por las sales biliares en el intestino que actúan como detergentes bajando la tensión superficial. Esto disminuye el tamaño de las gotas de grasa, aumenta su número y da mayor superficie para que actúe la lipasa en la interfase grasa-agua en la luz intestinal. La formación de micelas, vesículas mucho más pequeñas en el orden de pocos nm, cuando la concentración de sales biliares sobrepasa un punto crítico permite solubilización y transporte de las grasas, en el interior hidrofóbico el colesterol insoluble y hacia el exterior los fosfolípidos que tiene un polo hidrofílico y hacia adentro el hidrofóbico. La micela se acerca a la membrana celular del enterocito donde se absorben las grasas.



**Fig. 9.17 ESTRUCTURA DE UNA MICELA MIXTA.** Son pequeñas vesículas de 3-6 nm que tiene 20-40 moléculas de sales biliares que se disponen espontáneamente hacia fuera con sus lados polares y dejando un centro hidrofóbico donde llevan los lípidos, en el lado hidrofílico también transportan lípidos como los fosfolípidos y monoglicéridos que tiene un lado polar y otro hidrofóbico.



**Fig. 9.18 PROCESOS EN LA DIGESTIÓN DE LAS GRASAS.** Los distintos tipos de grasas necesitan de degradación enzimática o solubilización en micelas o de ambos.