

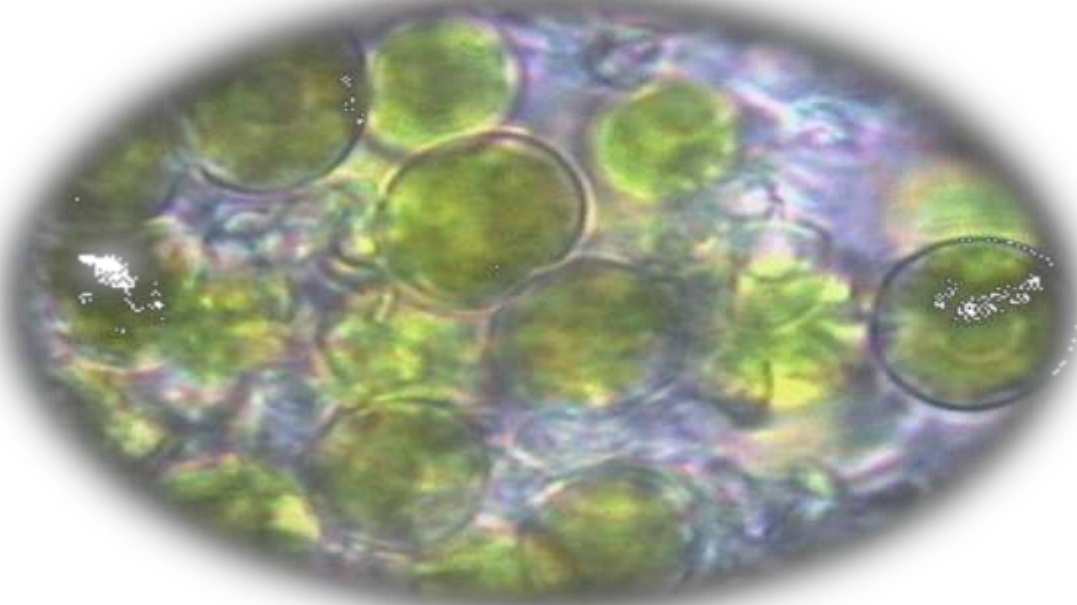


Universidad Católica Agropecuaria del Trópico Seco

Pbro. "Francisco Luis Espinoza Pineda"

Fundación 1968-2011

Medicina Veterinaria y Zootecnia
Asignatura: Bioquímica



METABOLISMO DE LÍPIDOS

Contenido	Pág.
Introducción.....	4
Propiedades generales de las grasas	7
Saponificación.....	7
Índice de saponificación.....	8
Halogenación - índice de yodo.....	8
Rancidez.....	10
Metabolismo de los lípidos.....	10
oxidación de los ácidos grasos	11
Fosfolípidos.....	13
Esteroides.....	14
Lipolisis	14
Síntesis de ácidos grasos y grasas Neutras (lipogénesis).....	15
Formación de cuerpos cetónicos	16
Reacciones para la formación de cuerpos cetónicos	17
Catabolismo de los lípidos.	18
Proceso digestivo de los lípidos:	19
En animales Monogástricos:	20
La bilis y su secreción	22
Degradación de los lípidos en el intestino delgado.....	22
En Rumiantes	23
Absorción intestinal de lípidos.....	28
Hidrolisis de las grasas:	29
Hidrogenación de los ácidos grasos insaturados en el rumen.....	30

Formación de ácidos grasos de cadena larga en el rumen y composición de la grasa microbiana.....	31
Influencia sobre la composición de ácidos grasos de los depósitos adiposos	32
Interrelaciones metabólicas entre lípidos y carbohidratos.	32
El papel del hígado en la movilización de lípidos	32
Hígado graso	33
Colesterol.....	33
Bibliografía	34

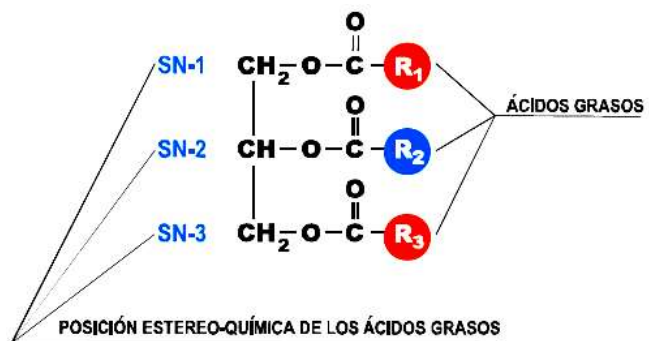
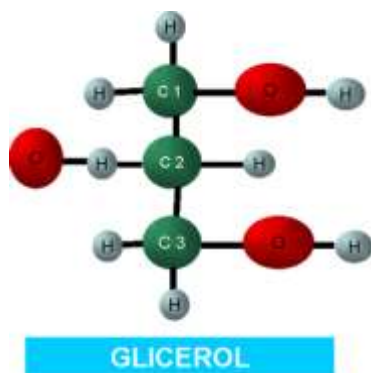
Introducción

Los lípidos forman un grupo heterogéneo de compuestos orgánicos y son componentes importantes de los tejidos vegetales y animales.

Bajo el término “lípidos” se agrupan todo un cuerpo de sustancias con propiedades físicas y químicas comunes.

Son sustancias de origen vegetal o animal compuestas de ácidos grasos superiores de la serie alifática, esterificados generalmente con un alcohol poliatómico, la glicerina, a veces se encuentra en forma de amidas y los más complejos contienen en sus moléculas nitrógeno y fósforo.

Tienen la propiedad común de ser solubles en solventes orgánicos (metanol, etanol, acetona, cloroformo, éter, benceno, etc.), son insolubles en agua.



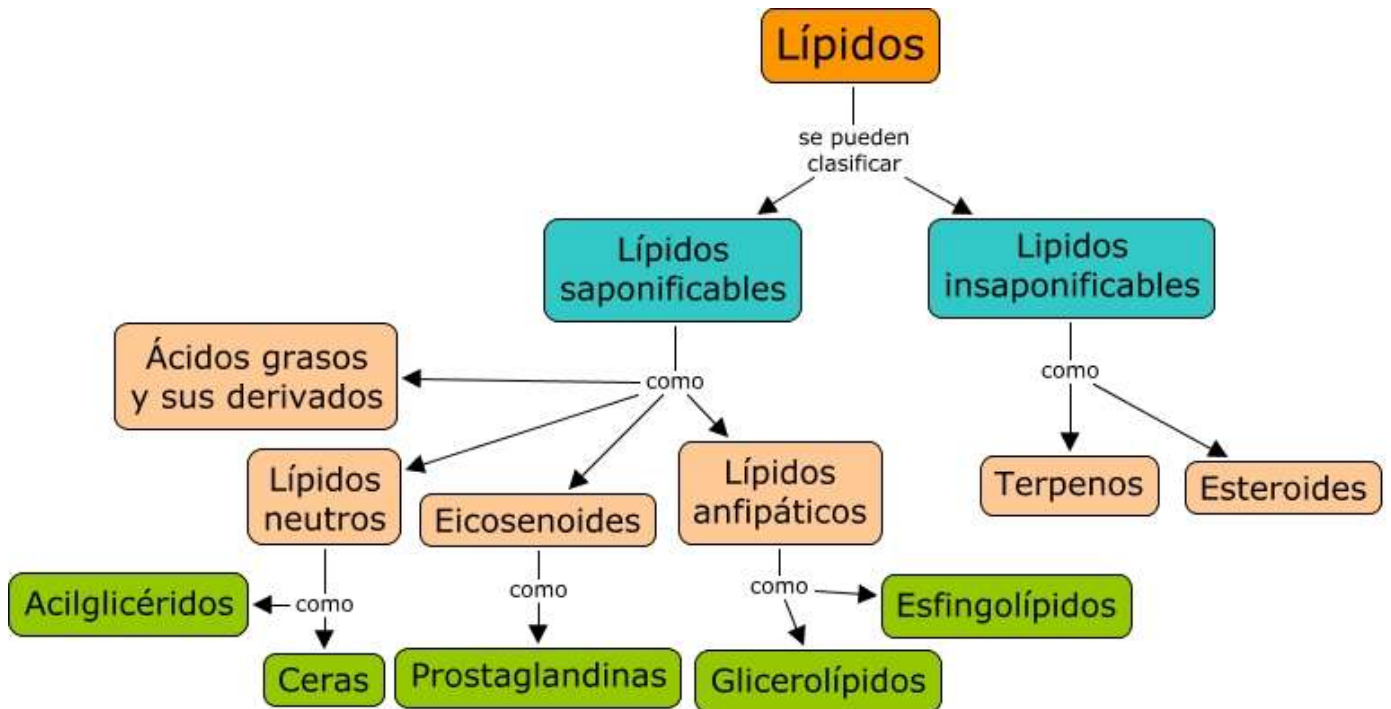
Estructura básica de los triglicéridos. Los radicales (R1, R2, y R3) consisten de una cadena carbonada de longitud y saturación variable

Los lípidos constituyen el grupo de compuestos de reserva de energía más importantes en el reino animal (tejido adiposo).

El término grasa se utiliza para referirse a los lípidos de consistencia sólida o semi-sólida a temperatura ambiental. Se llaman aceites a aquellos lípidos que son líquidos a la misma temperatura. De la producción mundial de grasas y aceites, alrededor de 30% es destinada a la alimentación y el resto a la industria. En la alimentación los lípidos desempeñan fundamentalmente el papel de suministradores de energía.

Las grasas y aceites proporcionan 2, 3 veces más calorías que los carbohidratos sobre la base del mismo peso. Los lípidos entran en la composición de importantes tejidos y órganos, como son los nervios y el cerebro; sirven como aislamiento de órganos vitales protegiéndolos de los golpes y manteniendo la temperatura óptima del cuerpo. Forman parte integral de la estructura de la membrana celular, están asociados con el transporte de las membranas celulares.

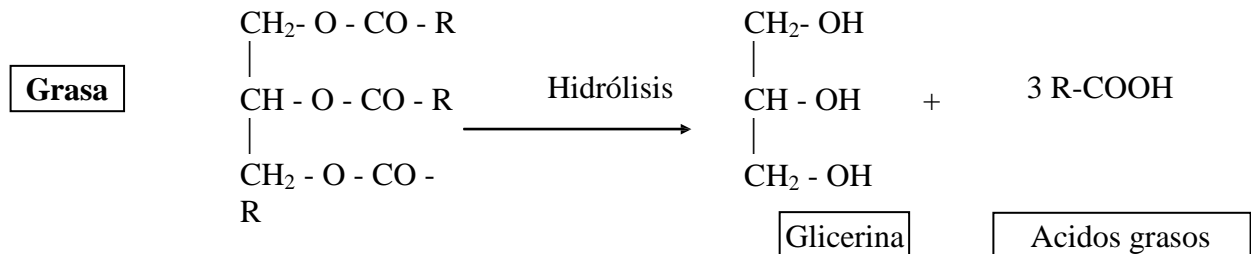
A diferencia de los polisacáridos y proteínas, los lípidos no son polímeros (no poseen una unidad monómera repetitiva). Sin embargo, al igual que los carbohidratos, pueden clasificarse en base a sus productos de hidrólisis y según su semejanza en cuanto a estructura molecular. Se clasifican en tres importantes subclases.



1. LIPIDOS SIMPLES:

a. **Grasas y aceites:** Los cuales producen ácidos grasos y glicerol por hidrólisis.

Esta reacción se puede representar de la siguiente manera:



b. **Ceras:** Las cuales producen ácidos grasos y alcoholes de cadena larga por hidrólisis, etc.

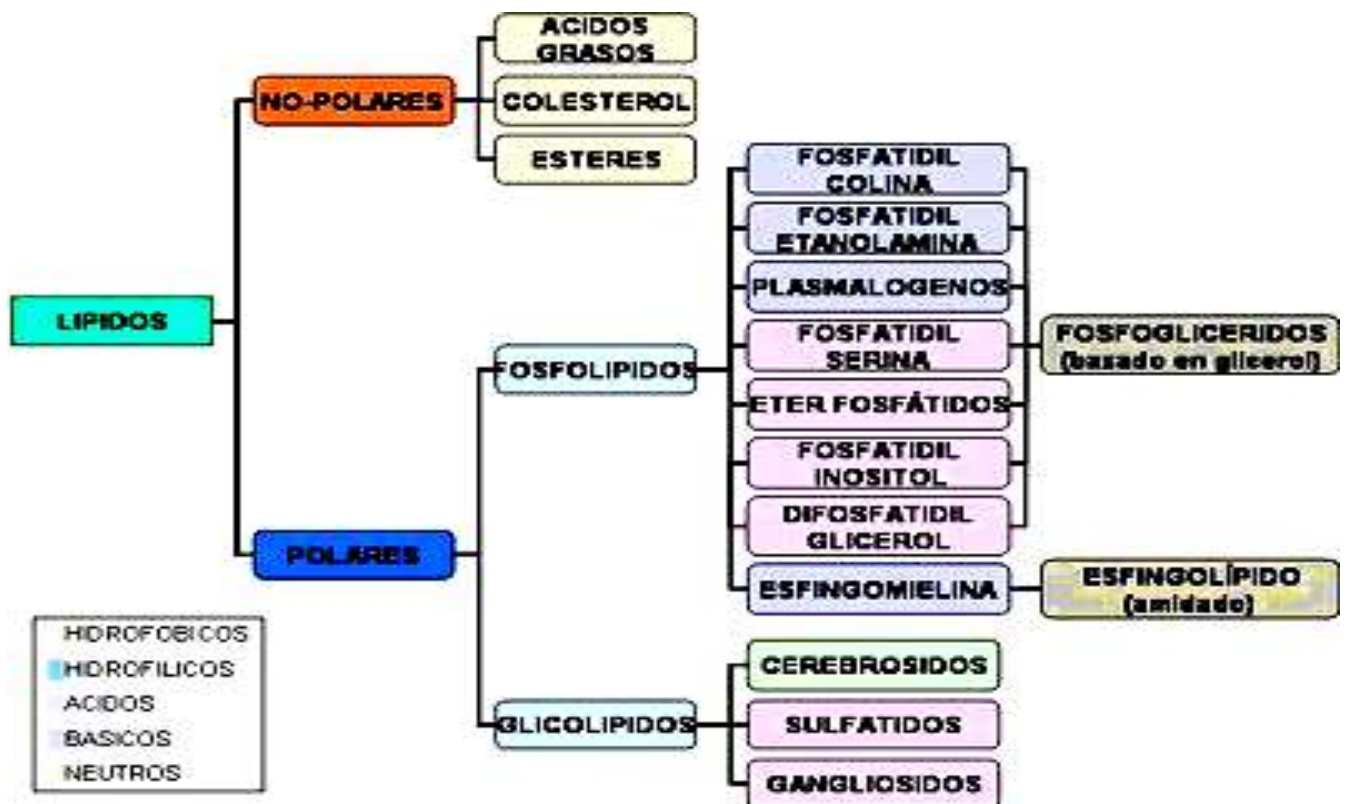
2. LIPIDOS COMPUESTOS:

a. **Fosfolípidos:** Los cuales producen por hidrólisis ácidos grasos, glicerol, ácido fosfórico y un alcohol nitrogenado.

b. **Glicolípidos:** Estos producen por hidrólisis ácidos grasos, esfingoneína o glicerol y un carbohidrato.

c. **Esfingolípidos:** Los cuales producen por hidrólisis ácidos grasos, esfingosina, ácido fosfórico y un componente alcohólico.

3. **Esteroides:** Son compuestos que poseen una estructura fenantrénica muy diferente de los lípidos formados por ácidos grasos.



Propiedades generales de las grasas.

Saponificación

La hidrólisis de los triglicéridos, puede efectuarse por varios procedimientos, los más comunes utilizan alcali o enzimas llamadas lipasas. La HIDROLISIS ALCALINA recibe el nombre de saponificación, debido a que uno de los productos de la hidrólisis es un jabón ordinario de sales de sodio o potasio de los ácidos grasos.

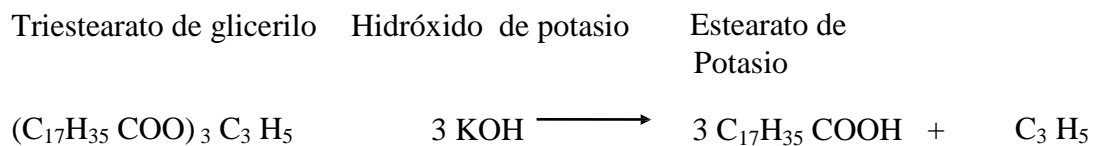


Ejemplo, cuando se hierve el triestearato de glicerol con solución de hidróxido de sodio se obtienen el estearato de sodio (un jabón) y glicerina. Como las grasas naturales tienen una composición mixta, el jabón que se produce es una mezcla de sales de ácidos grasos elevados (desde C₈ hasta C₂₆). Al escribir la fórmula de un jabón se emplean habitualmente las de palmitato de sodio, estearato de sodio y oleato de sodio, debido a que estas sales se encuentran en proporción considerable en la mayor parte de las muestras de jabón.

Esta reacción de hidrólisis también proporciona un método analítico útil para la determinación de una constante, el **índice de saponificación**, el cual es característico de los lípidos.

El índice de saponificación de un lípido se define como el número de miligramos de hidróxido de potasio necesario para saponificar un gramo de grasa o de aceite.

Para cualquier triglicerol puro, este número puede calcularse fácilmente. Por ejemplo:



Peso molecular = $890 \cdot 3 + 56 = 168$

Índice de saponificación:

1 mol de triestearato de glicerilo (890 gr.) ----- necesita ----- 168 gr. de KOH

1 gramo ----- necesita ----- x gr. de KOH

El **índice de saponificación** es igual a 0.189 gr. (189 mg) de KOH. El número de saponificación de una grasa de bajo peso molecular es grande y decrece al aumentar el peso molecular de la grasa. Por lo tanto, la determinación del número de saponificación de una grasa proporciona una medida de su peso molecular y de este modo del tamaño promedio de los tres grupos ácidos de la grasa.

Halogenación - índice de yodo

Los ácidos grasos insaturados, en forma libre o combinados como ésteres en grasas y aceites, reaccionan con los halógenos adicionándose a los dobles enlaces. El grado de absorción de una grasa es proporcional al número de dobles enlaces. La cantidad de halógeno que absorbe un lípido puede emplearse como índice del grado de insaturación. El valor de índice se llama **índice de yodo** y se define como el número de gramos de yodo (o equivalentes de yodos) que se adicionan a una grasa o aceite. Mientras más bajo es el índice de yodo, más alto es el grado de saturación de la grasa o aceite.

La consistencia de la grasa depende en gran medida del grado de saturación de los ácidos grasos que entran en su composición. Existe una relación entre la consistencia y el índice de yodo.

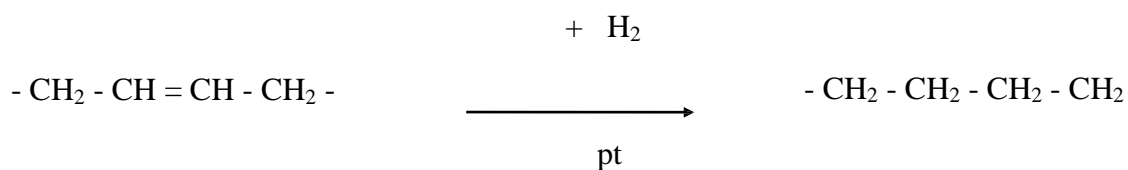
INDICE DE YODO	CONSISTENCIA	Es posible transformar aceites (como el de la semilla de algodón) que contienen grasas no saturadas en grasas sólidas mediante la saturación de los radicales ácidos con hidrógeno.
65 - 80	Blanda (crema)	
50 - 65	Sebácea	
35 - 50	Dura	
20 - 35	Quebradiza	

La **hidrogenación** del aceite de semilla de algodón con níquel como catalizador a 200° C se efectúa en gran escala para la fabricación de grasas sólidas vegetales (oleomargarinas).

En estos productos la saturación de los enlaces olefínicos (dobles) no es completa, pues las grasas totalmente saturadas son demasiado duras para servir como manteca de cocina.

El grado de hidrogenización debe ser controlado de manera que la grasa parcialmente hidrogenada, a temperatura ambiente tenga la consistencia de la grasa de cerdo.

El esquema general de la reacción de hidrogenación es el siguiente:



Rancidez

El término RANCIO se aplica a todo aceite o grasa que desarrolle un olor desagradable. Dos reacciones químicas de importancia son las causantes de la ranciedad, la hidrólisis y la oxidación.

La mantequilla es susceptible de la ranciedad hidrolítica ya que contiene muchos ácidos de peso molecular bajo (ácidos butíricos, caproico, etc.) y todos poseen olores repulsivos. En condiciones húmedas y calientes, ocurre la hidrólisis de los enlaces éster, liberando los ácidos volátiles. Los microorganismos presentes en el aire proporcionan las enzimas (lipasas) que catalizan el proceso.

Metabolismo de los lípidos

El objetivo primario de la digestión de los lípidos es hacerlos hidromiscibles y puedan absorberse a través de las microvellosidades intestinales que están recubiertas por una capa acuosa. No obstante existen diferencias entre rumiantes y monogástricos.

La acción continuada de las lipasas provoca el desdoblamiento del triglicérido en tres moles de ácidos grasos y un mol de glicerina. Una vez que se ha degradado la grasa en sus unidades constituyentes, cada uno de ellos tomará o encauzará su degradación final por rutas diferentes.

La glicerina está íntimamente relacionada con el metabolismo de los carbohidratos en su fase intermedia, por ser ésta convertida fácilmente por un conjunto de enzimas en el Gliceraldehído- 3 - fosfato. Del proceso de degradación de una grasa, el balance Energético por la entrada y degradación del gliceraldehído-3-P a la ruta glucolítica en condiciones aeróbicas resulta un total de 22 ATP.

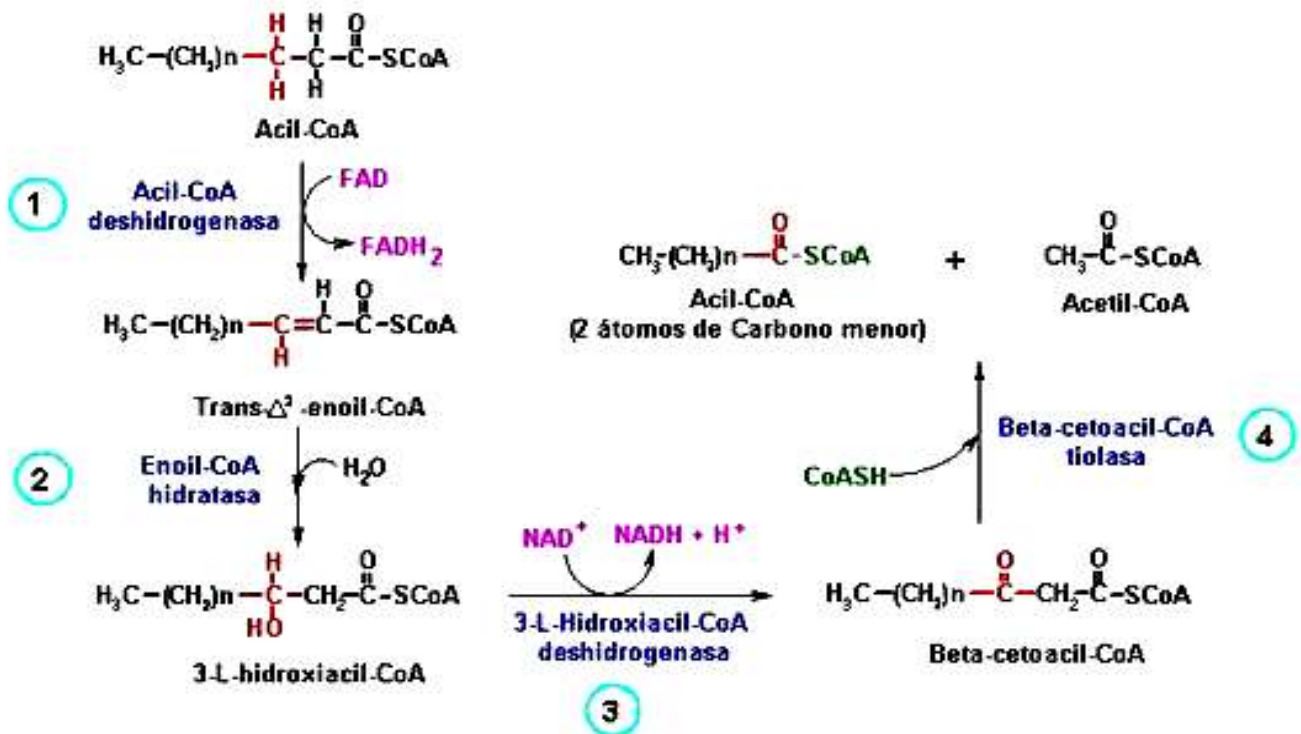
La acción de las lipasas sobre los triglicéridos constituye una fuente de ácidos grasos libres, también es proveedora de estos la degradación de los fosfoglicéridos de la membrana celular. Kenndy y Lehninges (1948 - 1949) demostraron que la oxidación de los ácidos grasos, independientemente del organismo de que se tratara, se realizaba en las mitocondrias.

β -oxidación de los ácidos grasos

Una vez que ha penetrado a la mitocondria el ácido graso experimentará oxidaciones sucesivas por la acción de un conjunto de enzimas localizadas en los compartimentos interiores de la mitocondria. El proceso es denominado **β -oxidación** por ocurrir en el carbono β del ácido graso obteniéndose al final de las distintas fases un acil - CoA disminuido en dos carbonos y una fracción de acetil - CoA.

El **balance energético** de la degradación oxidativa de los ácidos grasos está determinado por la estrecha vinculación de la β - oxidación con el ciclo de Krebs, la cadena respiratoria y la Fosforilación oxidativa.

El valor real del balance es de 61 ATP.



En los ácidos grasos de número impar de átomos de carbono en el proceso de oxidación queda un compuesto de tres átomos de carbono; **propionil-CoA** que posteriormente pasa a ser por la secuencia de reacciones:

metil-malonil -----> **Succinil CoA** que luego se incorpora al ciclo de Krebs. El balance energético total de estas reacciones es de 5 ATP.

En el caso de los vertebrados, el hígado es capaz de desviar una parte del acetil - CoA producido por la oxidación de los ácidos grasos hacia la formación de **cuerpos cetónicos** (**ácido acetilacético, hidroxibutírico, acetona**), fomentado por ingestiones altas de lípidos o por trastornos metabólicos (diabetes), también se puede dar por una inhibición de la enzima Citrato sintetasa o por ayuno prolongado de glucosa produciendo un aumento de estos cuerpos cetónicos e inclusive su eliminación en grandes cantidades por la orina.

Fosfolípidos

La lecitina_(fosfatidil colina) es el fosfolípido que se encuentra en mayor cantidad en los tejidos de los animales. Se puede sintetizar por dos vías al utilizar la colina o por metilación de la fosfatidil etanolamina. La última se lleva a cabo en el hígado. La degradación de los fosfolípidos se efectúa a través de la hidrólisis de los ésteres de carboxilo y de los ésteres de fosfato o los ácidos grasos y los otros metabolitos que se liberan durante la hidrólisis y pueden penetrar al ciclo de Krebs (ATC). El glicerol puede penetrar a la vía de la glucólisis o se puede utilizar en la síntesis de los triglicéridos o de los fosfolípidos.

Esteroides

El colesterol es el esteroide que se encuentra en mayor abundancia en la dieta, es el precursor de los otros esteroides. La biosíntesis se efectúa a partir del Acetil-CoA. El consumo dietético controla esa biosíntesis, en parte el consumo elevado disminuye la biosíntesis, un consumo bajo incrementa la síntesis.

El colesterol, además de excretarse en la bilis y participar en la conversión en ácidos biliares, también se utiliza para la síntesis de las hormonas esteroides (progesterona, testosterona, estrógeno de la corteza suprarrenal) o se almacena como un componente de los depósitos patológicos en los conductos biliares (cálculos vesiculares) y en las arterias.

Terpenos. Tienen olores y sabores característicos. Al degradarse producen isopreno. No proporcionan energía a los animales.

Dentro de este grupo también se incluyen los **carotenoides**, **pigmentos vegetales** y **vitaminas liposolubles**, como lípidos no saponificables y misiones específicas en el interior del organismo

Lipolisis

La Lipolisis es el proceso metabólico mediante el cual los lípidos del organismo son transformados para producir ácidos grasos y glicerol para cubrir las necesidades energéticas.

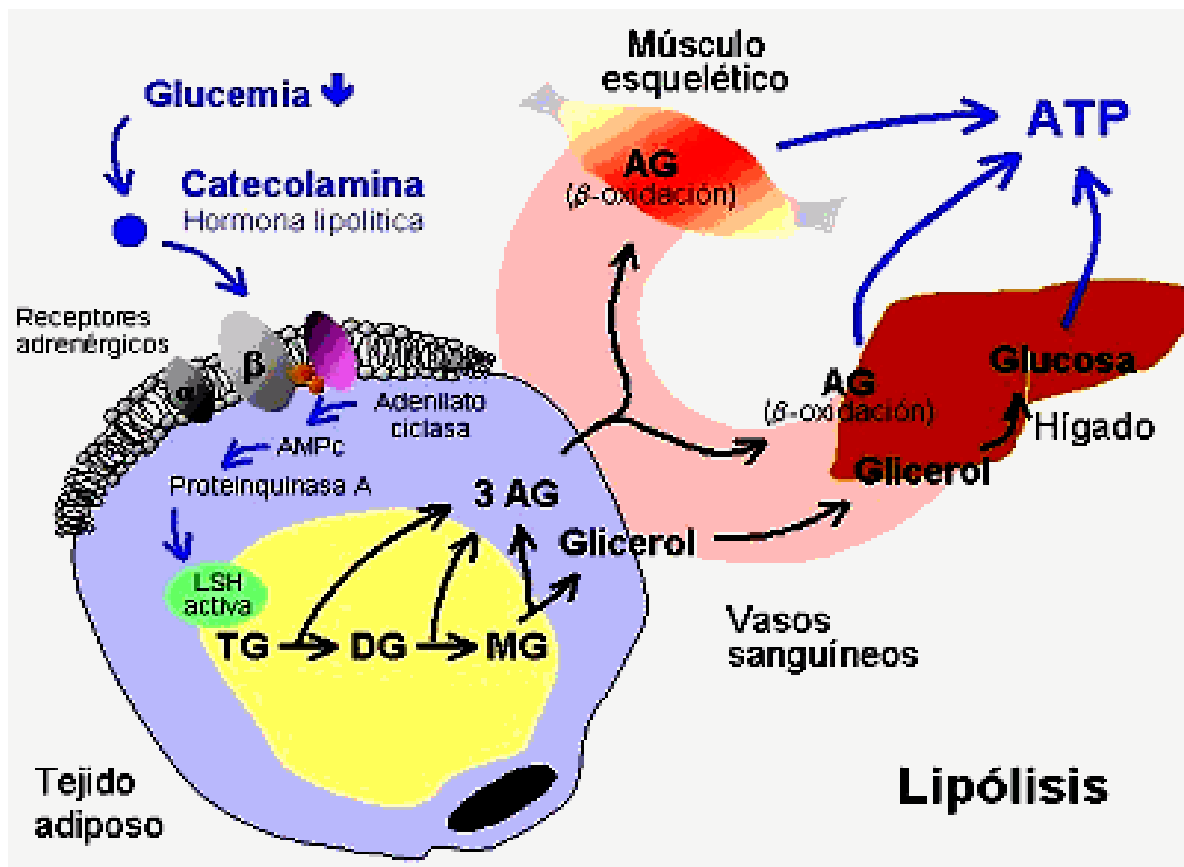
La Lipolisis es el conjunto de reacciones bioquímicas inversas a la lipogénesis.

A la Lipolisis también se le llama movilización de las grasas o hidrólisis de triacilglicéridos en ácidos grasos y glicerol.

La lipólisis es estimulada por diferentes hormonas catabólicas como el glucagón la epinefrina, la norepinefrina la hormona del crecimiento y el cortisol, a través de un sistema de transducción de señales. La insulina disminuye la Lipólisis.

En el adipocito el glucagón activa a determinadas proteínas G, que a su vez activan a la adenilato ciclasa, al AMPc y éste a la lipasa sensible, enzima que hidroliza los triacilglicéridos.

Los ácidos grasos son vertidos al torrente sanguíneo y dentro de las células se degradan a través de la betaoxidación en acetil-CoA que alimenta el ciclo de Krebs



Síntesis de ácidos grasos y grasas Neutras (lipogénesis)

La síntesis de los ácidos grasos no tiene lugar por la vía inversa a la degradativa.

1. La síntesis se produce en el citosol, a diferencia de la degradación, que tiene lugar en la matriz mitocondrial.
2. Los intermediarios en la síntesis de ácidos grasos están covalentemente unidos a los grupos sulfhidrilo de una proteína portadora de grupos acilo (acyl carrier protein, ACP), mientras que los intermediarios en la degradación de los ac. Grasos están ligados a la coenzima A.
3. El reductor en la síntesis de ácidos grasos es el NADPH.
4. La cadena del ácido graso en crecimiento se alarga por la adición secuencial de unidades de dos carbonos derivadas del acetil-CoA. El dador activado de las unidades de dos carbonos en la etapa de elongación es el malonil-ACP. La reacción de elongación está dirigida por la eliminación de CO₂.

Formación de cuerpos cetónicos

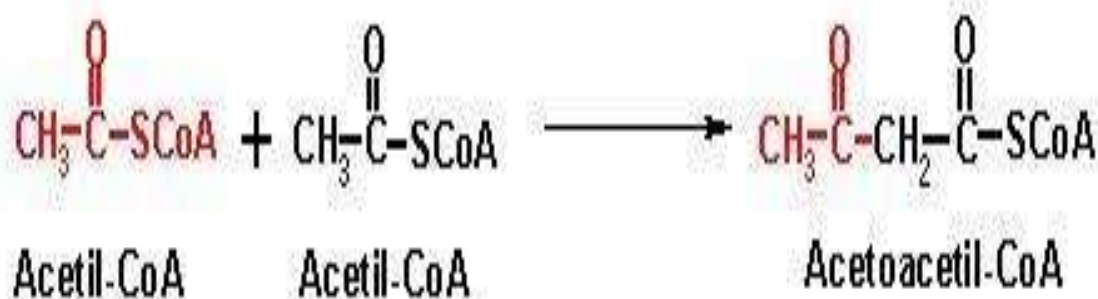
El acetil-CoA formado en la oxidación de los ácidos grasos entra en ciclo de Krebs si la degradación de las grasas y la de los carbohidratos están adecuadamente equilibradas. Si en el hígado predomina la degradación de las grasas, el acetil-CoA experimenta un destino diferente.

La razón de ello es que la entrada del acetil-CoA depende de la asequibilidad del oxalacetato para la formación del citrato ya que la concentración del oxalacetato está disminuida si no hay carbohidratos disponibles o si no se utilizan apropiadamente.

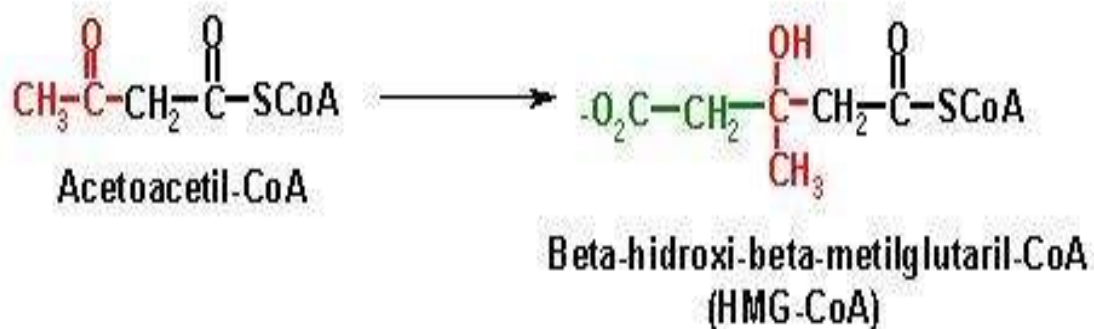
En estas condiciones, el acetil-CoA se desvía para formar acetato y D-3-hidroxiacetato. El acetato, D-3-hidroxiacetato y la acetona se llaman cuerpos cetónicos.

Reacciones para la formación de cuerpos cetónicos

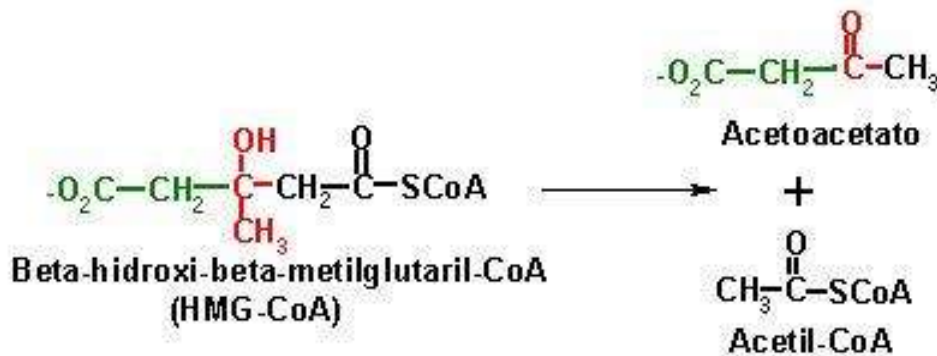
1.- Dos moléculas de acetil-CoA son condensadas a acetoacetyl-CoA por la tiolasa (acetil-CoA transferasa), que hace carbohidrato la dirección contraria del paso final de la β -oxidación.



2. Condensación de acetoacetyl-CoA con un tercer acetil-CoA por la HMG-CoA que forma β -hidroxi- β -metilglutaril-CoA (HMG-CoA: que también es un precursor en la arbohidrat del arbohidra). El mecanismo de reacción recuerda la reacción reversa catalizada por la tiolasa, en la cual, en el sitio activo un grupo forma un intermediario acil-tioéster.



3.- Degradación de HMG-CoA a acetoacetato y acetil-CoA, el mecanismo de esta enzima es análogo a la reacción reversa de la enzima citrato arbohi. En la actualidad no se sabe por qué esta simple hidrólisis ocurre en esta manera indirecta.



Catabolismo de los lípidos

El principal mecanismo de obtención de energía de los lípidos (sustancias con muy alto valor calórico) lo constituye la oxidación de los ácidos grasos, que se obtienen de los triglicéridos mediante hidrólisis por lipasas específicas. Éstos siempre podrán entrar en el ciclo de Krebs, por lo que cuanto más largo sea el ácido graso mayor cantidad de energía se obtendrá en su oxidación. La glicerina también podrá degradarse si se transforma en dihidroxiacetona, entrando en la glucólisis.

En el caso de los mamíferos, los ácidos grasos (en forma de triglicéridos) tienen una importancia capital como almacén y fuente de energía. El exceso de glúcidos ingeridos en la dieta se almacena en esta forma, para ser movilizados cuando el organismo lo necesite durante los periodos de ayuno o de demanda energética excesiva. Los triglicéridos son especialmente aptos para esta función. El principal mecanismo de

obtención de energía de los lípidos lo constituye la llamada beta-oxidación de los ácidos grasos. Estos ácidos grasos se obtienen de la hidrólisis de los triacilglicéridos mediante el concurso de enzimas específicas y se difunden a la sangre donde los ácidos grasos se unen a las albúminas. Los ácidos grasos ligados a la albúmina son transportados a otros tejidos donde pueden emplearse como fuente energética.

Los ácidos grasos se unirán a una molécula de coenzima A (CoA) en el citoplasma, quedando activados como acil-CoA. De esta forma pasan a la mitocondria, donde sufren el proceso denominado b-oxidacion. Los ácidos grasos se oxidan completamente hasta dióxido de carbono y agua.

El resultado de cada ciclo oxidativo de la beta-oxidación de los ácidos grasos es la formación de equivalentes reductores (FADH₂ y NADH), una molécula de acetil-coenzima A y una molécula de acil-coenzima A dos carbonos más corta. El acetil-coenzima A se incorpora al ciclo de Krebs para continuar su degradación. Como ejemplo el balance energético de 1 mol de ácido palmítico (16 átomos de carbono) da lugar a 129 ATP.

Proceso digestivo de los lípidos

La digesta pasa al intestino delgado a partir de ese momento presenta ya una consistencia semilíquida o líquida, y recibe la denominación de **quimo**. En el canal entérico el quimo entra en contacto con nuevas secreciones digestivas que prosiguen la degradación de los alimentos. Las grasas son en primer lugar emulsionadas.

En animales Monogástricos

La separación mecánica de los lípidos de los demás nutrientes comienza en el estómago por efecto de los movimientos peristálticos. Dicha acción continúa en el duodeno a donde llega una grosera emulsión de grasa que se irá hidrolizando gracias a la acción combinada de las lipasas pancreáticas y de las sales biliares. El tamaño de las partículas de grasa se reduce hasta los 500-1000 Å. La acción detergente de las sales biliares es previa a la acción de la lipasa pues deja las partículas grasas con mayor superficie por unidad de volumen con lo que facilita la acción de las enzimas pancreáticas.

La hidrólisis de los triglicéridos aun así no es total sino que se forman unas micelas de monoglicéridos, ácidos grasos y ácidos biliares que poseen grupos polares que se orientan hacia el exterior en contacto con la fase acuosa, mientras que los grupos no polares forman el corazón lipídico de la micela. Las micelas producidas en la luz del duodeno tienen un diámetro de 50-100 Å y transportan los lípidos hasta las células de la mucosa intestinal donde son posteriormente absorbidas.

Antes de su ingreso en el **intestino**, la grasa de los alimentos es degradada, en sólo muy pequeña proporción en el estómago; siendo por ello importantísima la misión de la lipasa pancreática (muy activa) en la degradación de las grasas a nivel del intestino delgado. La **lipasa pancreática** escinde las grasas, pasando por diglicéridos y monoglicéridos, pudiendo incluso hidrolizarlas completamente en ácidos grasos y glicerina.

El pH óptimo para la acción de la lipasa pancreática se sitúa en 8.0.

Cuando el contenido gástrico penetra en el duodeno tiene lugar la transformación en jabones de una parte de los ácidos grasos libres, a causa de la elevada cantidad de bicarbonato existente en el jugo pancreático. Estos jabones, junto con los ácidos

biliares, actúan emulsionando las grasas; el grado de emulsión alcanzado es de gran importancia para la actividad de las lipasas.

La formación de gotitas de grasa en suspensión (emulsión) aumenta enormemente la superficie de contacto de la grasa original y por tanto aumenta el área de ataque para la lipasa. La falta de jugo pancreático en el intestino produce trastornos graves de la digestión, sobre todo la degradación de lípidos, y además altera la absorción de los productos de degradación de las grasas y de las vitaminas liposolubles.



La bilis y su secreción

La bilis formada en el hígado, constituye tanto una excreción como una secreción. Por una parte, cierto número de productos metabólicos, por ejemplo, los pigmentos biliares, abandonan el organismo por vía biliar y, por otra parte, se contiene en la bilis compuestos químicos en forma de ácidos biliares que son de gran importancia para el proceso digestivo de los lípidos.

Los ácidos biliares que junto con la bilis son vertidos al intestino son reabsorbidos en su mayor parte en el íleon, mediante transporte activo, después de la absorción de mono glicéridos y ácidos grasos. Después de ser separados de los ácidos grasos pasan a la circulación portal y son transportados de nuevo al hígado. En cada ciclo se pierde de 10 - 20% de los ácidos biliares, cantidad que debe ser repuesta de manera continua por el hígado.

Degradación de los lípidos en el intestino delgado

Al ingerir raciones con un contenido corriente de grasa, se desdobra e hidroliza la mayor parte de la grasa alimentaria, y sólo una escasa proporción es absorbida como grasa por la mucosa intestinal. La emulsión de las grasas, su hidrólisis y la formación de micelas son el requisito previo para la absorción de los ácidos grasos de cadena larga.

Las grasas alimentarias se emulsionan en el intestino delgado con la colaboración de las sales de los ácidos biliares como detergentes. Los ácidos biliares contribuyen a la formación de las fases micelares en la luz del intestino.

La lipasa pancreática rompe los enlaces estéricos de la grasaemulsionada, produciéndose monoglicéridos y ácidos grasos libres, como productos del desdoblamiento.

Concretamente, las sales biliares contribuyen al proceso de emulsión de las grasas, subdividiendo los glóbulos de grasa del alimento en partículas más pequeñas; los quilomicrones. Con esto aumenta enormemente la superficie de contacto entre la lipasa y la grasa, facilitándose la degradación.

Producto de esta degradación se producen monoglicéridos y ácidos grasos libres que en unión de las sales biliares forman partículas aún más pequeñas que los quilomicrones, las micelas, facilitándose con ello el proceso de absorción. Los productos absorbidos por esta vía llegan al hígado.

Además, la formación de quilomicrones permite que la mucosa intestinal, por el proceso de pinocitosis, absorba grasa intacta, pasándola a la linfa.

En Rumiantes

Se sabía desde hace varios años que los depósitos grasos de los rumiantes están poco sometidos a modificación por cambios en la dieta o el aporte de cantidades relativamente grandes de grasa y aceites insaturados. En los monogástricos, por el contrario el aporte alimenticio de cantidades grandes de grasas insaturadas puede afectar marcadamente el depósito de grasa.

La grasa depositada en los rumiantes contiene grandes cantidades de ácido esteárico (C18 : 0), cantidades importantes de isómeros trans, así como ciertas cantidades de ácidos de cadena ramificada.

La grasa de la leche, particularmente, contiene cantidades apreciables de ácido de cadena impar, los cuales no son característicos de los vegetales; así era evidente que la síntesis de estos ácidos tenía que realizarse en la panza o en los tejidos del organismo. Investigaciones recientes señalan que la mayor parte de esta actividad tiene lugar en el rumen, produciéndose modificaciones características de la grasa contenida en la dieta, así como síntesis de los ácidos de cadena impar y de cadena ramificada.

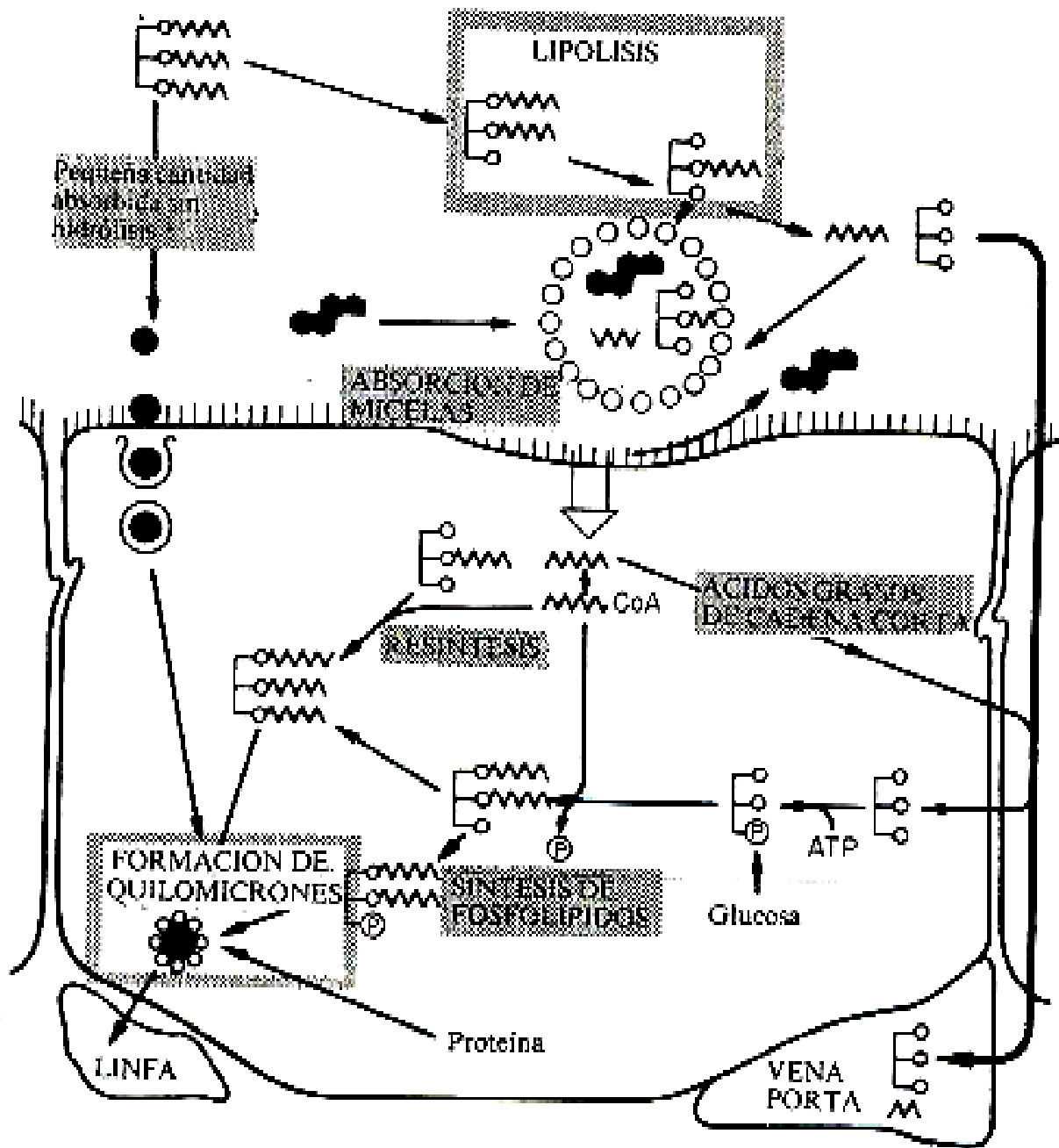
En el rumen, la mayoría de los lípidos son hidrolizados. El enlace entre el glicerol y los ácidos grasos se rompe dando origen a glicerol y tres ácidos grasos.

El glicerol se fermenta rápidamente para formar ácidos grasos volátiles (ver metabolismo de carbohidratos). Algunos ácidos grasos son utilizados por las bacterias para sintetizar los fosfolípidos necesarios para construir sus membranas de células.

Otra acción importante de los microbios del rumen es de hidrogenar los ácidos grasos no saturados. En este proceso, un ácido graso resulta saturado porque un enlace doble se reemplaza por dos átomos de hidrogeno. Por ejemplo la hidrogenación convierte el ácido oleico en ácido estearico.

Los ácidos grasos libres en el rumen tienden a ligarse a partículas de alimentos y microbios y propiciar más fermentaciones, especialmente de los carbohidratos fibrosos.

La mayoría de los lípidos que salen del rumen son ácidos grasos saturados (85-90%) principalmente en la forma de ácidos palmítico y esteárico) ligados a partículas de alimentos y microbios y los fosfolípidos microbianos (10-15%).



 Acidos grasos de cadena larga
  Acidos grasos de cadena corta

 Glicerol

 Sales biliares conjugadas

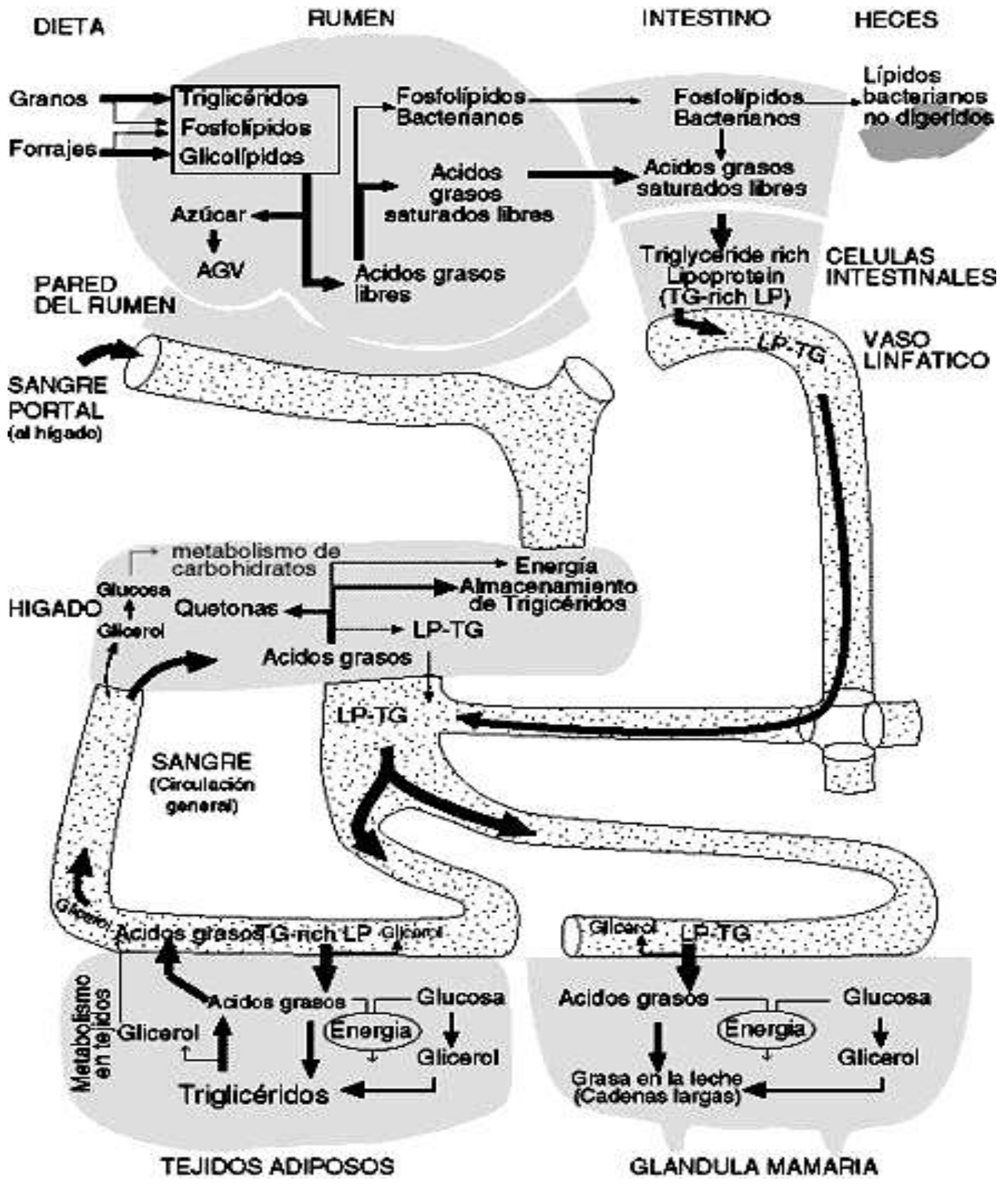
Los fosfolípidos microbianos y los ácidos grasos procesados son digeridos y absorbidos a través de la pared del intestino. La bilis secretada por el hígado y las secreciones pancreáticas (ricas en enzimas y en especial las lipasas pancreáticas y bicarbonato) se mezclan con el contenido del intestino delgado.

Las secreciones biliares en especial los ácidos glicocólico, taurocólico y cólico son esenciales para preparar los lípidos para absorción, formando partículas mezclables con agua que pueden entrar en las células intestinales. En las células intestinales la mayor parte de los ácidos grasos se ligan con glicerol (proveniente de la glucosa de la sangre) para formar triglicéridos.

Los triglicéridos, algunos ácidos grasos libres, colesterol y otras sustancias relacionadas con lípidos se recubren con proteínas para formar lipoproteínas ricas en triglicéridos, también llamados lipoproteínas de baja densidad.

Las lipoproteínas ricas en triglicéridos entran en los vasos linfáticos y de allí pasan al canal torácico (donde el sistema linfático se conecta con la sangre) y así llegan a la sangre.

En contraste con la mayoría de nutrientes absorbidos en el tracto gastrointestinal los lípidos absorbidos no van al hígado sino que entran directamente a la circulación general. Así los lípidos absorbidos pueden ser utilizados por todos los tejidos del cuerpo sin ser procesados por el hígado.



Ácidos grasos comunes encontrados en la dieta de vacas lecheras.			
Nombre común	Estructura	Abreviada *	Punto de fusión (° C)
Ácidos saturados			
Mirístico	$\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_{12}\text{-COOH}$	(C14:0)	54
Palmitico	$\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_{14}\text{-COOH}$	(C16:0)	63
Estearico	$\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_{16}\text{-COOH}$	(C18:0)	70
Ácidos no-saturados			
Palmitoleico	$\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_5\text{-CH=CH- (CH}_2\text{)}_7\text{-COOH}$	(C16:1)	61
Oleico	$\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_7\text{-CH=CH- (CH}_2\text{)}_7\text{-COOH}$	(C18:1)	13
Linoleico	$\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_4\text{-CH=CH-CH}_2\text{-CH=CH-(CH}_2\text{)}_7\text{-COOH}$	(C18:2)	-5
Linolenico	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH=CH-CH}_2\text{-CH=CH-CH}_2\text{-CH=CH-(CH}_2\text{)}_7\text{-COOH}$	(C18:3)	-11

Absorción intestinal de lípidos

Los fosfolípidos microbianos y los ácidos grasos procesados son digeridos y absorbidos a través de la pared del intestino. La bilis secretada por el hígado y las secreciones pancreáticas (ricas en enzimas y en especial las lipasas pancreáticas y bicarbonato) se mezclan con el contenido del intestino delgado. Las secreciones biliares en especial los ácidos glicocólico, taurocólico y cólico son esenciales para preparar los lípidos para absorción, formando partículas mezclables con agua que pueden entrar en las células intestinales. En las células intestinales la mayor parte de los ácidos grasos se ligan con glicerol (proveniente de la glucosa de la sangre) para formar triglicéridos.

Los triglicéridos, algunos ácidos grasos libres, colesterol y otras sustancias relacionadas con lípidos se recubren con proteínas para formar lipoproteínas ricas en triglicéridos, también llamados lipoproteínas de baja densidad.

Las lipoproteínas ricas en triglicéridos entran en los vasos linfáticos y de allí pasan al canal torácico (donde el sistema linfático se conecta con la sangre) y así llegan a la sangre. En contraste con la mayoría de nutrientes absorbidos en el tracto gastrointestinal los lípidos absorbidos no van al hígado sino que entran directamente a la circulación general. Así los lípidos absorbidos pueden ser utilizados por todos los tejidos del cuerpo sin ser procesados por el hígado.

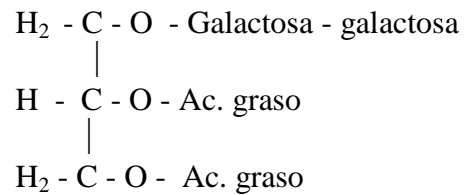
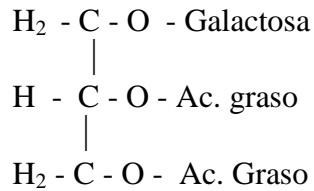
Hidrolisis de las grasas

Los datos publicados sobre el metabolismo en el rumen de los lípidos de la dieta indican que en él tiene lugar una rápida hidrólisis, Miller y Cramen (1967) observaron que el alcance de la hidrólisis de diferentes aceites y grasas (tanto vegetales como animales) iba desde un máximo del 35% (espermaceti). Los vegetales eran, en general, hidrolizados más completamente que las grasas animales o aceites del pescado.

Datos publicados por varios investigadores indican que el glicerol puede ser metabolizado por microorganismos del tipo Selemonas ruminantium, dando ácido propiónico como principal producto de fermentación. Son gérmenes gram negativos, cuyo número en el contenido de la panza sólo se modifica levemente administrando glicerina o triglicéridos. La administración de penicilina y otros antibióticos reduzca la actividad lipolítica del contenido del rumen, lo cual explica el efecto de esta medida en la profilaxis del timpanismo.

A partir de los lípidos del alimento se liberan ácidos grasos por los microorganismos del rumen, que rompan mediante hidrólisis los enlaces estéricos. Sin embargo, apenas es posible evidenciar en la panza la presencia de productos intermedios de la degradación en forma de di y monoglicéridos.

Los ácidos grasos de cadena larga generados en la hidrólisis no son ni absorbidos ni metabolizados en los preestómagos. Los alimentos vegetales cuentan con una fracción de grasa del 4 al 10% de la MS. Estas grasas vegetales se componen preferentemente de mono- y digalactosil - diglicéridos, en unión de fosfolípidos, triglicéridos, sulfolípidos y otros.



Monogalactosil-diglicérido

Digalactosil-diglicérido

En el desdoblamiento de los galactosil-diglicéridos se produce además galactosa, que es metabolizada por los microorganismos del rumen produciendo AGV.

Hidrogenación de los ácidos grasos insaturados en el rumen

Los ácidos grasos de las grasas pueden ser hidrogenados total o parcialmente tras su hidrólisis en el rumen por las bacterias y protozoos allí existentes. La hidrogenación total de los ácidos oleico (18:1), linoleico (18:2) y linolénico (18:3) originan esteárico (18:0), mientras que la hidrogenación parcial de los mismos, produce isómeros cis y trans, así como isómeros de posición (existencia de dobles enlaces conjugados).

Degradación de la glicerina y galactosa

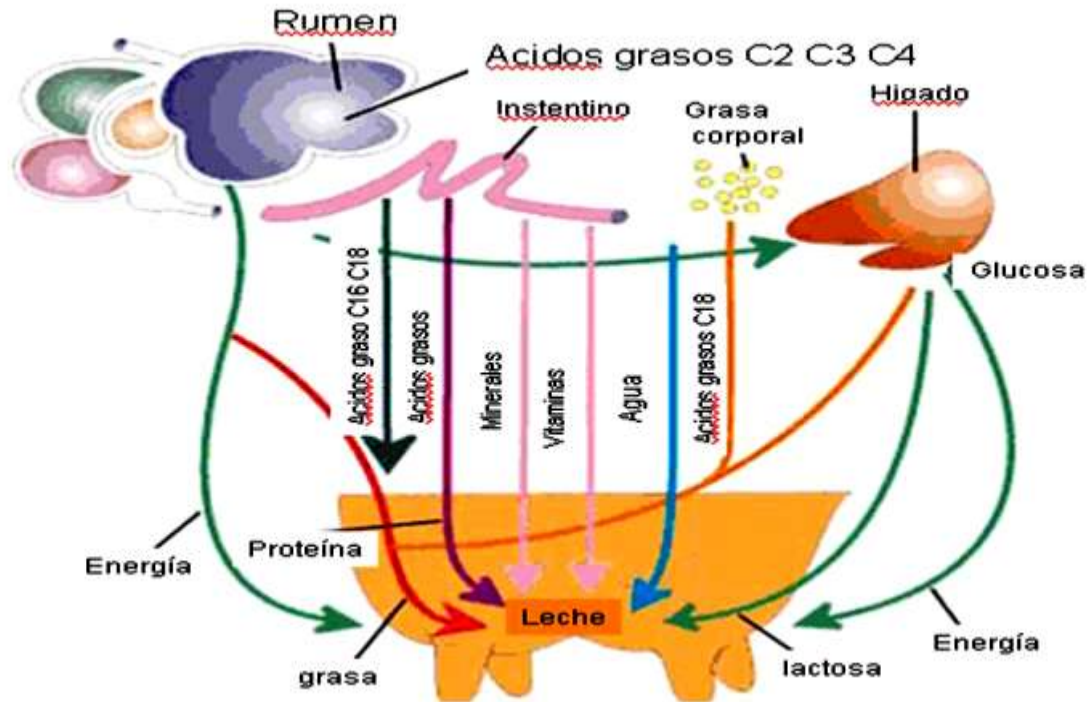
El glicerol y la galactosa son metabolizados hasta AGV en el rumen, la glicerina preferentemente en propiónico y la galactosa en acético, propiónico y butírico.

Formación de ácidos grasos de cadena larga en el rumen y composición de la grasa microbiana.

Según estudios realizados en ovejas, la cantidad de ácidos grasos de cadena larga que abandonan el abomaso es superior a la cifra de los mismos ingeridos en el pienso. Este aumento es más marcado cuando se consumen raciones ricas en almidón que al tomar raciones con abundante fibra bruta. Alrededor del 80% del aumento de ácidos grasos de cadena larga en el rumen corresponden al esteárico, prevaleciendo en la fracción restante el palmítico.

El aumento de esteárico sólo puede explicarse en parte, sin embargo, con la hidrogenación de ácidos de 18 átomos de carbono insaturados, es probable que además tenga lugar un aumento de los ácidos esteárico y palmítico mediante el alargamiento de las cadenas de ácidos grasos cortos.

Las grasas de los microorganismos del rumen se caracterizan por su elevada cantidad de ácidos grasos ramificados con 13, 14, 15, 16 y 17 átomos de carbono, de ácidos grasos con un número impar de átomos de carbono y por la presencia de aldehídos. Además contienen ácidos grasos sin ramificar y ácidos de 18 átomos de carbono mono insaturados.



Influencia sobre la composición de ácidos grasos de los depósitos adiposos.

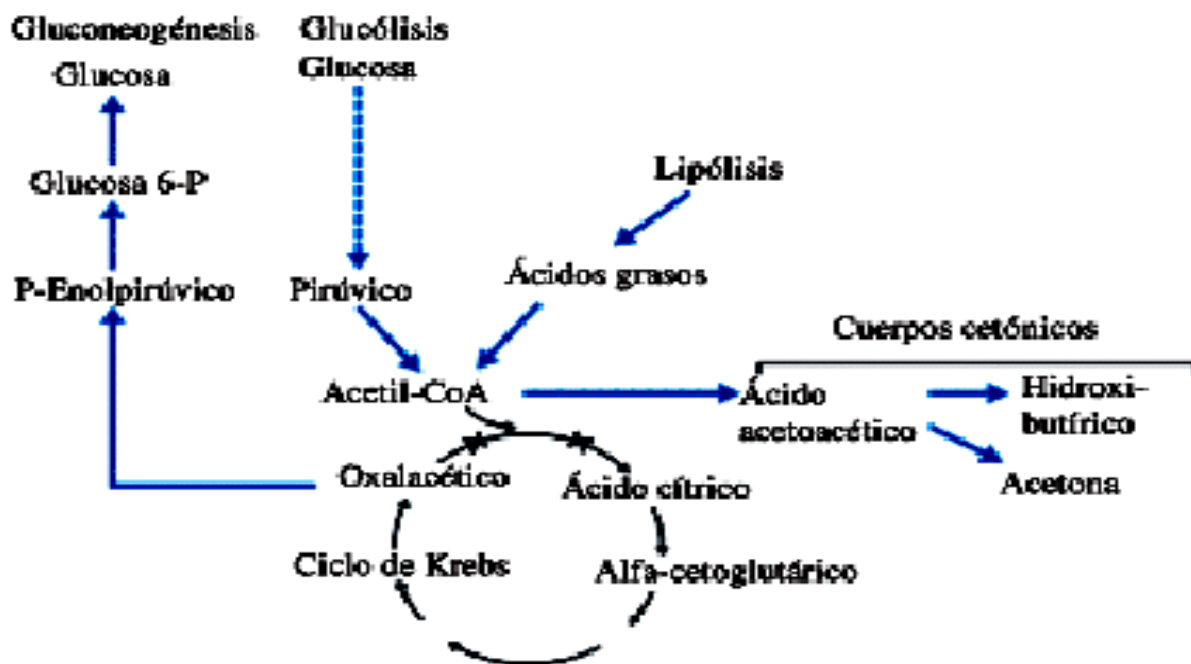
La hidrogenación total o parcial de los ácidos grasos en el rumen y las particularidades de los ácidos grasos microbianos, originan diferencias en la composición de los ácidos grasos de la leche y depósitos adiposos de los rumiantes en comparación con los animales monogástricos.

Se destaca la elevada proporción de ácido esteárico en la grasa de depósito, la presencia de isómeros de ácidos insaturados con trans-dobles enlaces, la de ácidos grasos ramificados y de ácidos grasos con número impar de átomos de carbono. Los tres últimos son sin duda de origen exclusivamente microbiano.

Interrelaciones metabólicas entre lípidos y carbohidratos

El metabolismo de los lípidos y de los carbohidratos se encuentra estrechamente relacionado por la vía que sigue la glicerina y la glucosa, las cuales tienen una vía común, la conversión en Gliceraldehído 3-fosfato.

Complemente esta información con el esquema de la degradación de la glicerina que tiene en sus apuntes y las investigaciones que realizó.



El papel del hígado en la movilización de lípidos

En periodos de sub-alimentación o en la primera parte de lactancia, las vacas suplen su demanda energética movilizando los tejidos adiposos ya que la energía proveniente de la dieta no es suficiente. Los ácidos grasos de los triglicéridos almacenados en los tejidos adiposos (ubicados principalmente en el abdomen y encima de los riñones) son

liberados hacia la sangre. Los ácidos grasos liberados son absorbidos por el hígado donde pueden ser utilizados como fuente de energía o pueden ser liberados hacia la sangre y utilizados como una fuente de energía en muchos tejidos.

El hígado no tiene una alta capacidad para formar y exportar lipoproteínas ricas en triglicéridos y los ácidos grasos excedentes movilizados son almacenados como triglicéridos en las células del hígado. La grasa depositada en el hígado hace difícil al hígado formar más glucosa. Esta condición ocurre principalmente en los primeros días de lactancia y puede llevar a desordenes metabólicos como cetosis e hígado graso.

Hígado graso

El hígado graso es un síntoma de un trastorno del metabolismo de las grasas relacionado con la sobreproducción de grasa en el hígado y un mayor transporte de grasa en el hígado o bien por la subutilización de grasa en el hígado o una defectuosa liberación de las mismas.

El hígado graso de las aves se produce deliberadamente por la administración forzada de grandes cantidades de granos de cereales, Estos tienen un alto contenido en almidón que es transformado en sustancias grasas.

Bibliografía auxiliar:

- 1) Bioquímica para estudiantes de Ciencias Agropecuarias. Autor: Dra. Asela Ramos.
- 2) Bioquímica de los alimentos. Autor. Reynaldo Torres Vera.
- 3) Fundamentos de alimentación animal. Texto básico. Fernando Londoño.