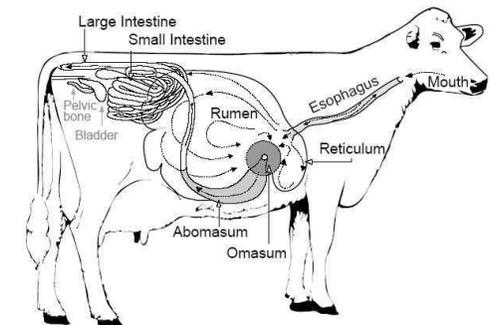


Anatomía del Sistema Digestivo de los Rumiantes

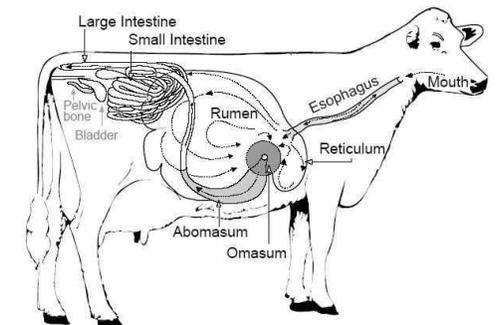
Rolando Demanet Filippi
Dr. Ingeniero Agrónomo
Facultada de Ciencias Agropecuarias y Medio Ambiente
Universidad de la Frontera

Cátedra de Producción de Carne
2024

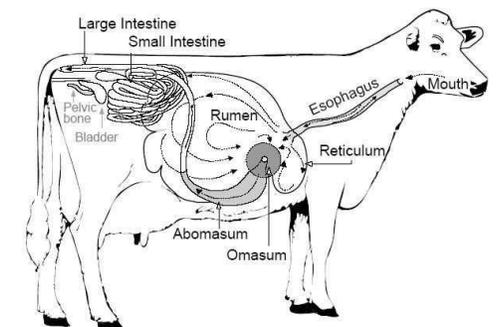
- ✓ La producción animal depende de factores endógenos y exógenos
- ✓ Entre los endógenos se encuentran aquellos inherentes a aspectos fisiológicos y metabólicos donde se destacan los procesos que ocurren en el ambiente ruminal
- ✓ De la permanencia de los distintos componentes de los alimentos a nivel ruminal para su digestión dependerá la futura producción de carne y leche



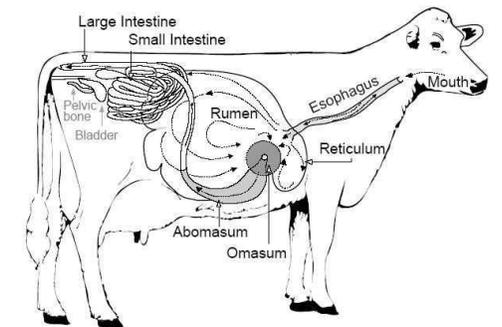
- ✓ El estómago de un bovino está formado por cuatro cámaras: rumen, retículo, omaso y abomaso
- ✓ Los rumiantes digieren los alimentos en dos etapas: primero los consumen y luego realizan la rumia, que consiste en la regurgitación del material ingerido
- ✓ En el ambiente ruminal se genera más del 60% de la energía que el animal utilizará en sus procesos metabólicos y entre el 60 y 80% de la proteína que será asimilada en el duodeno



- ✓ En la medida que se mejoren los procesos de digestión del alimento mejor será la producción animal y con ello la productividad de cualquier sistema ganadero
- ✓ Los bovinos poseen en su tracto digestivo una parte ensanchada donde las condiciones son favorables para el mantenimiento de una población bacteriana capaz de digerir la celulosa



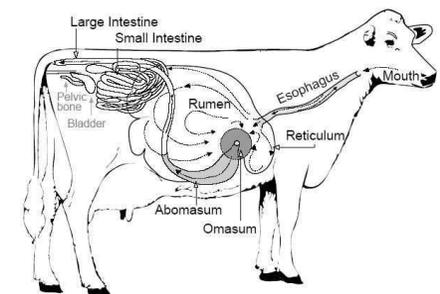
- ✓ Esta porción en los rumiantes se ubica antes del estómago, lo que permite que los productos de la acción bacteriana sean completamente absorbidos por el animal
- ✓ Unido a lo anterior hay que considerar que los bovinos poseen un estómago de alta capacidad que los hace especialmente aptos para la alimentación de forrajes fibrosos con alto contenido de celulosa inutilizable por otros mamíferos



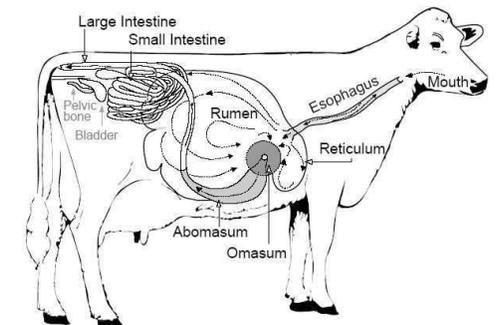
Anatomía del sistema digestivo

✓ La anatomía del sistema digestivo de un rumiante incluye:

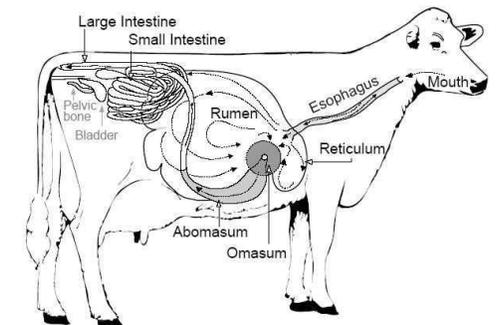
- ✓ Boca
- ✓ Lengua
- ✓ Glándulas salivales
- ✓ Esófago
- ✓ Rumen
- ✓ Retículo
- ✓ Omaso
- ✓ Abomaso
- ✓ Páncreas
- ✓ Vesícula biliar
- ✓ Intestino delgado
- ✓ Intestino grueso



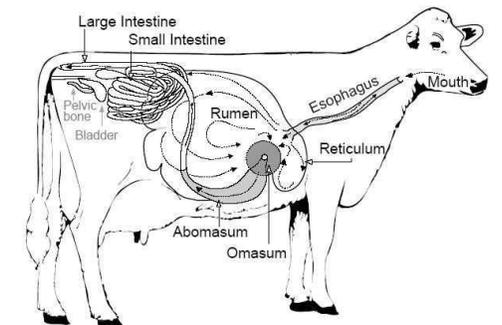
- ✓ La primera porción del conducto alimenticio está formada por la **boca** que contiene la **lengua** y los dientes
- ✓ Los rumiantes pasan un tercio del tiempo comiendo y otro tercio rumiando y masticando
- ✓ Los rumiantes utilizan la boca y la lengua para trasladar el alimento
- ✓ Realizan entre 25.000 y 40.000 mordidas diarias del alimento ingresado a la cavidad bucal



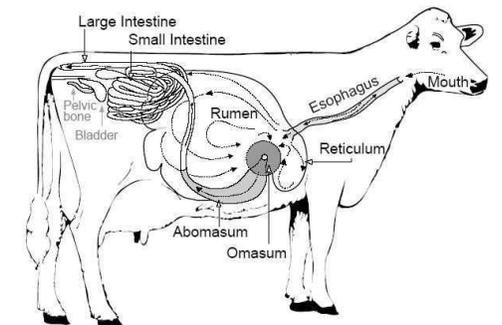
- ✓ La **lengua** es larga en su porción libre y se encuentra cubierta por diferentes tipos de papilas que le proporcionan una marcada aspereza y la transforman en el principal órgano de aprehensión
- ✓ La lengua sale de la boca, rodea el pasto y lo impulsa hacia el interior de la boca
- ✓ La dentadura de los rumiantes carece de caninos e incisivos en el maxilar superior que es reemplazado por una almohadilla carnosa



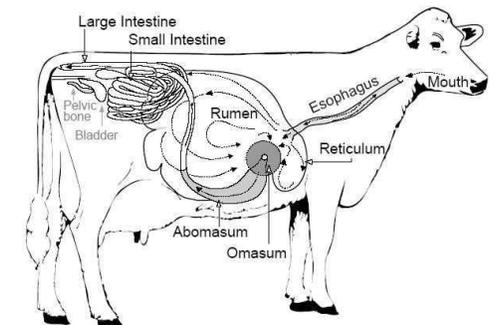
- ✓ La parte superior del paladar de un rumiante es muy duro y carece de incisivos
- ✓ Los incisivos de la mandíbula inferior trabajan contra el paladar
- ✓ Los premolares y los molares de ambas mandíbulas coinciden unos con otros
- ✓ El sistema dentario aplasta y muele el material consumido durante la masticación y el proceso de rumia



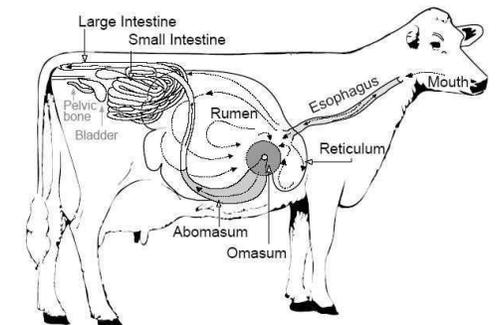
- ✓ Los incisivos inferiores están implantados de forma no rígida lo que evita lastimar a la almohadilla ubicada en la parte superior
- ✓ Los incisivos sujetan el pasto contra el rodete superior y el animal corta el bocado mediante un movimiento de su cabeza
- ✓ Una vez reunido varios bocados en el interior de su boca y formado un bolo de aproximadamente 100 gramos incluyendo la saliva , éste es deglutido



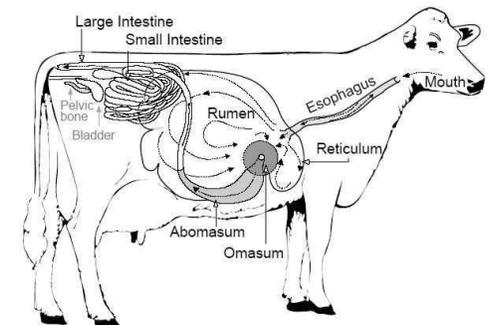
- ✓ Las **glándulas secretoras de saliva** se pueden clasificar en mucígenas y alcalígenas
- ✓ La secreción mucilaginosa tiene por objetivo humedecer el bolo, facilitar la masticación y la deglución
- ✓ La saliva alcalina formada por carbonatos, bicarbonatos y fosfatos mantienen el pH en un rango estrecho cercano a la neutralidad
- ✓ La secreción salival de un rumiante oscila entre 50 y 100 litros por día y la más abundante proviene de las glándulas alcalígenas



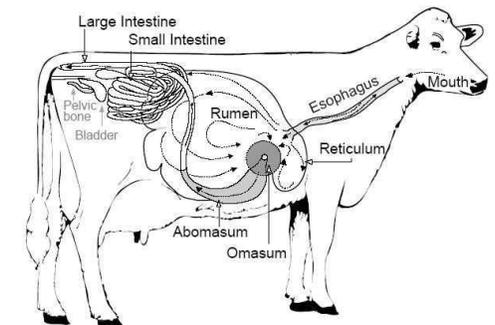
- ✓ La composición enzimática de la saliva permite la descomposición de las grasas a través de la **lipasa salival** y del almidón a través de la **amilasa salival**
- ✓ El alimento que consume el rumiante se mezcla en la boca con la saliva que contiene además de las enzimas antes mencionada, sodio, potasio, fosfatos, bicarbonato y urea formando un bolo
- ✓ El bolo se mueve desde la boca al retículo a través de un conducto en forma de tubo que corresponde al esófago
- ✓ Las contracciones musculares y las diferencias de presión ayudan a transportar este bolo por el esófago al retículo



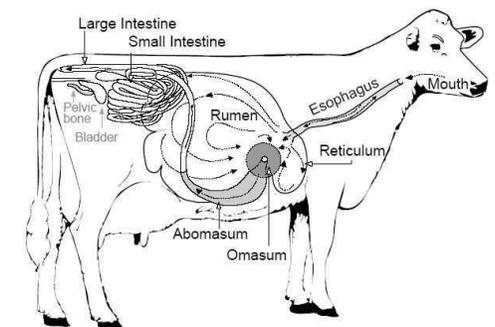
- ✓ Los rumiantes tragan gran parte del alimento ingerido sin una adecuada masticación
- ✓ El esófago que es un órgano que funciona en forma bidireccional permite la regurgitación del alimento para volver a masticarlo
- ✓ El proceso de **rumia** se genera cuando el alimento se devuelve a la boca para masticarlo y mezclarlo nuevamente con saliva



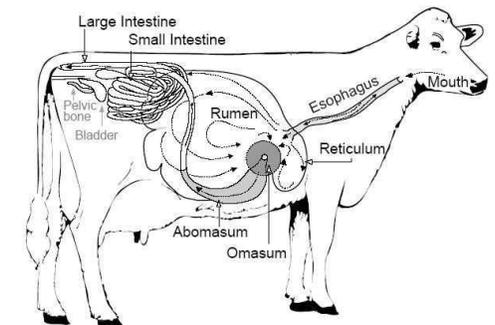
- ✓ La **rumia** es un proceso que realiza el bovino y que incluye el tiempo destinado a la regurgitación, masticación y deglución de la ingesta ruminal
- ✓ Las vacas rumian echadas al lado izquierdo periodo que puede durar dos horas
- ✓ La masticación durante la rumia es más lenta que cuando se ingieren y el tiempo de masticación depende de la fibrosidad del forraje consumido
- ✓ Terminado este proceso el bolo alimenticio se ingiere nuevamente y pasa junto con la saliva a la faringe que es un pasaje común de las vías respiratorias y digestivas y baja al retículo a través del esófago



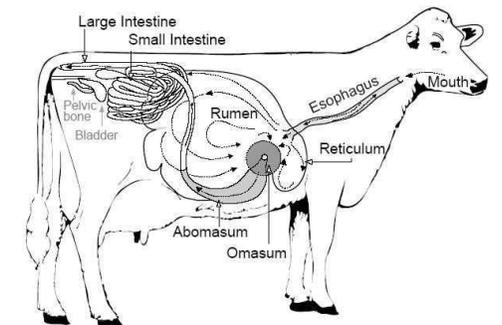
- ✓ El esófago posee una extensión de 0,90 y 1,05 metros con un diámetro de entre 5 y 7 cm y posee tres capas de las cuales una es muscular la cual produce ondas que facilitan el traslado del bolo
- ✓ Después de la rumia la porción sólida del alimento se mueve hacia el rumen para la fermentación
- ✓ La mayor parte de la porción líquida se traslada rápidamente desde el complejo retículo rumen al omaso y después al abomaso
- ✓ La parte sólida se queda en el rumen donde permanece al menos 48 horas donde forma una capa densa que se enfrentan a los microorganismos que degradaran la fibra



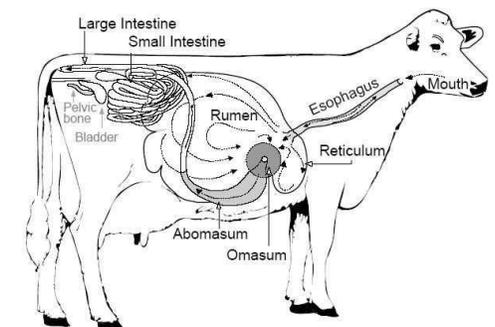
- ✓ El estómago de los rumiantes es un saco que normalmente comienza en el extremo del esófago lugar denominado **cardias** y termina en el duodeno en la fracción denominada **píloro**
- ✓ En los rumiantes el estómago está dividido en cuatro compartimentos denominados **rumen, retículo, omaso** y **abomaso** que comúnmente se llaman panza, bonete, librillo y cuajo
- ✓ El estómago se extiende desde el esófago hasta el inicio del duodeno a nivel del píloro
- ✓ En volumen ocupa el 75% de la cavidad abdominal y se encuentra situado al lado izquierdo del plano medio



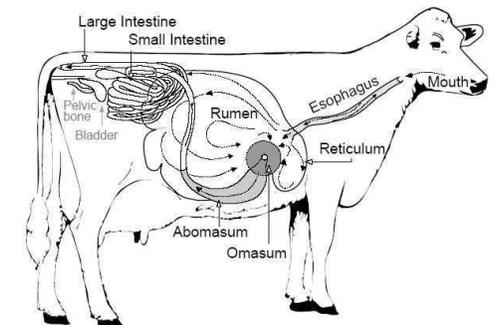
- ✓ El **retículo** presenta la misma estructura que el rumen, pero la mucosa de este compartimento posee pliegues de 1 cm de altura que dan origen a celdas poligonales en forma de panal
- ✓ Cuando el bolo consumido por el animal llega al cardia este se abre y el alimento ingresa al retículo donde se moverá por las contracciones musculares que lo rodean



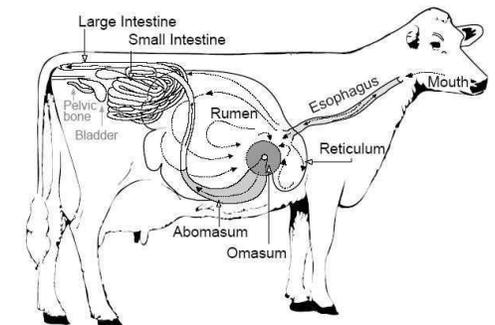
- ✓ En el lactante la leche pasa directamente desde la desembocadura del esófago hacia el abomaso a través del surco ventricular (**gotera esofágica**) sin depositarse en el rumen
- ✓ El **surco ventricular** consiste en un canal formado por dos pliegues que permite conducir en forma directa los alimentos líquidos hacia el abomaso
- ✓ El surco ventricular desemboca en el orificio retículo omasal que une al retículo con el omaso
- ✓ Este reflejo se manifiesta en terneros lactantes y esta habilidad se pierde con el destete. Algunos animales adultos pueden responder a este estímulo cuando consumen soluciones de sal común o mejor aún sales de cobre



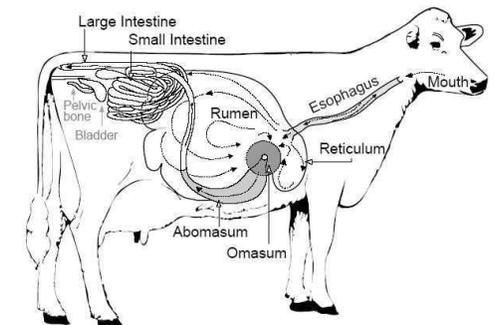
- ✓ El **rumen** es un saco formado por una cubierta escamosa, estratificado y cornificado rodeado de una capa muscular que produce las contracciones
- ✓ Corresponde a una formación sacular ovoidea que presenta dos caras, dos curvaturas y dos extremos
- ✓ Es el compartimento del estómago de los rumiantes de mayor volumen y posee una capacidad que puede llegar a 200 litros



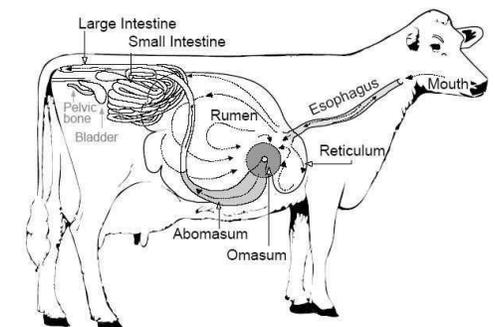
- ✓ En el **rumen** existen principalmente dos tipos de microorganismos: bacterias y protozoos
- ✓ La concentración de bacterias puede llegar a cien mil millones por centímetro cúbico y su concentración depende de la dieta
- ✓ El rumen es un saco donde se realiza la fermentación en condiciones de temperatura constante, esto es, aproximadamente 39°C un grado más que la temperatura corporal



- ✓ El **rumen** presenta una condición de anaerobiosis y el nivel de acidez depende de la concentración de los productos finales de la acción bacteriana: ácidos grasos volátiles (AGV), ácidos acéticos, propiónicos, butíricos que son neutralizados por la saliva
- ✓ Con alimentos muy digestibles hay un incremento en la concentración de AGV que no alcanza a ser neutralizada lo que supone que el pH puede descender a valores de 6 e incluso 5,5
- ✓ Con alimentos fibrosos la producción de ácidos es más lento y la producción de saliva mayor situación que permite mantener el pH a un nivel de 6,8

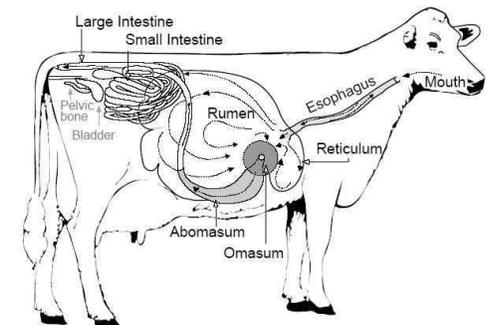


- ✓ El consumo de alimentos digestibles aumenta la concentración de bacterias productoras de ácido propiónico en el rumen y con los alimentos fibrosos las bacterias que aumentan son las productoras de ácido acético
- ✓ La población microbiana existente en el rumen no solo degrada los alimentos, sino que sintetiza sus propias proteínas, aun a partir de nitrógeno no proteico
- ✓ Los microorganismos del rumen son capaces de sintetizar los aminoácidos esenciales por lo que la calidad de la proteína en la dieta no tiene mucha importancia en un animal rumiante

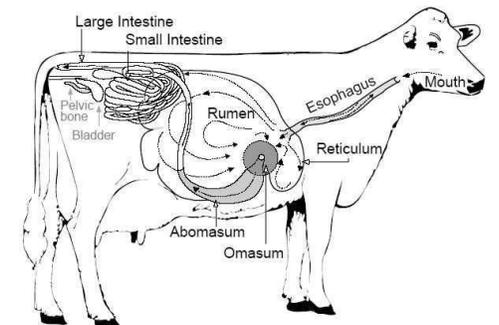


Desarrollo del rumen

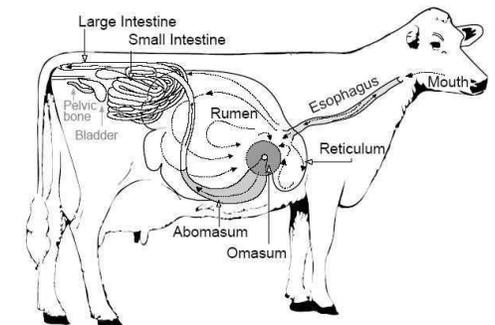
- ✓ Al nacer, los terneros son pre rumiantes, porque si bien cuentan con los pre estómagos: rumen, retículo y omaso, estos no son funcionales
- ✓ En esta etapa de la vida la digestión de los alimentos es solamente enzimática efectuada en el estómago verdadero: abomaso, que sí es funcional
- ✓ Como el complejo retículo-rumen no es funcional, los alimentos líquidos al ser ingeridos pasan de largo a través de la **gotera esofágica** (surco ventricular) gracias al acto reflejo que la regula



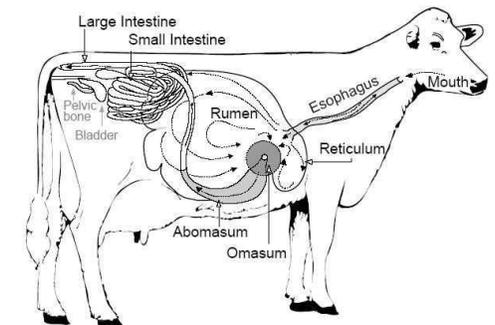
- ✓ La fuente principal de nutrientes en esos primeros meses del amamantamiento es líquida
- ✓ Después de la segunda a tercera semana de vida, la cantidad ingerida de alimento líquido proporcionado por la leche comienza a quedar en déficit respecto del potencial de crecimiento, por lo que el animal busca otras fuentes de nutrientes
- ✓ El desarrollo del retículo-rumen tiene lugar entre las 4 a 8 semanas de vida, motivado principalmente por el consumo de forraje



- ✓ Ese mayor ingreso de MS aumenta el consumo de energía, promueve el desarrollo de las funciones y la modificación de las proporciones de los órganos digestivos hacia las del rumiante adulto
- ✓ Cuando los terneros son normalmente destetados, alrededor de los seis meses, el rumen ya es el órgano primario del complejo estomacal
- ✓ Con el rumen funcional, todo el alimento sólido consumido es expuesto al proceso de fermentación bacteriana antes de alcanzar el abomaso y el resultado es un cambio en el tipo de energía y proteína disponible para los terneros

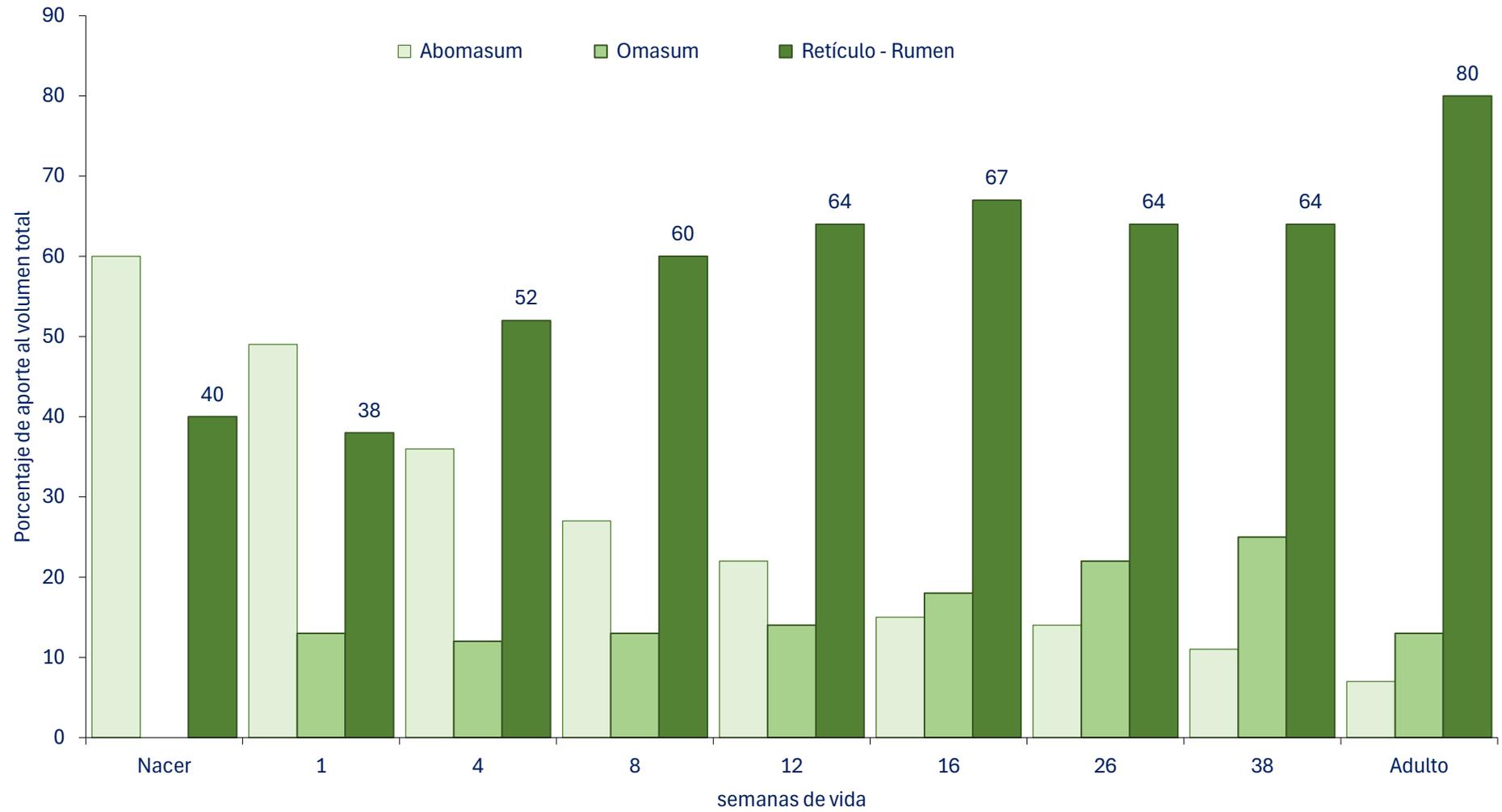


- ✓ La principal fuente de energía son los productos finales de la fermentación de los carbohidratos y ácidos grasos volátiles y la fuente de proteína, son los cuerpos bacterianos y protozoos
- ✓ Además de los cambios en la actividad de los compartimentos estomacales, también cambian el tamaño y las proporciones relativas de los mismos a la cuarta semana de edad, el complejo retículo rumen tiene el 52 % de participación
- ✓ El abomaso declina del 49 % al nacimiento hasta sólo un 11 % después de las 32 semanas de edad la participación del retículo rumen crece del 38 % al 67 % a las 16 semanas de edad



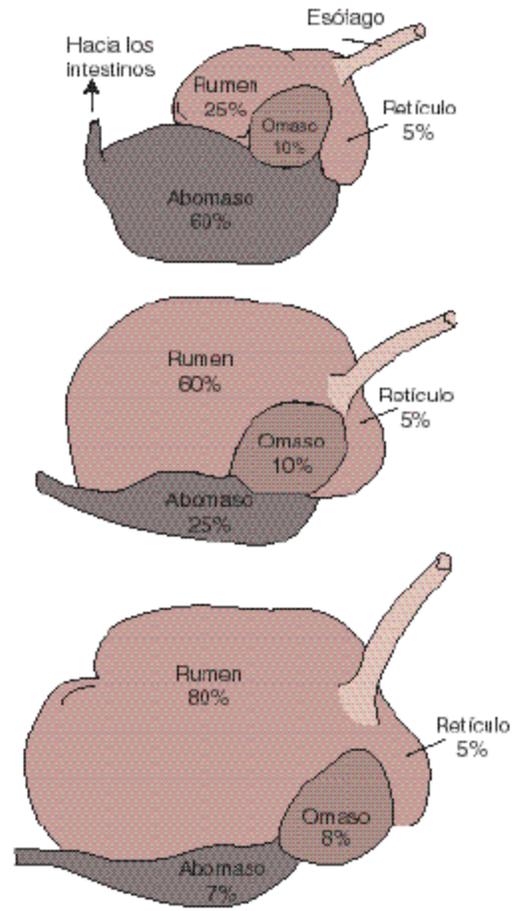
- ✓ El abomaso es la única sección glandular de los cuatro compartimentos del bovino



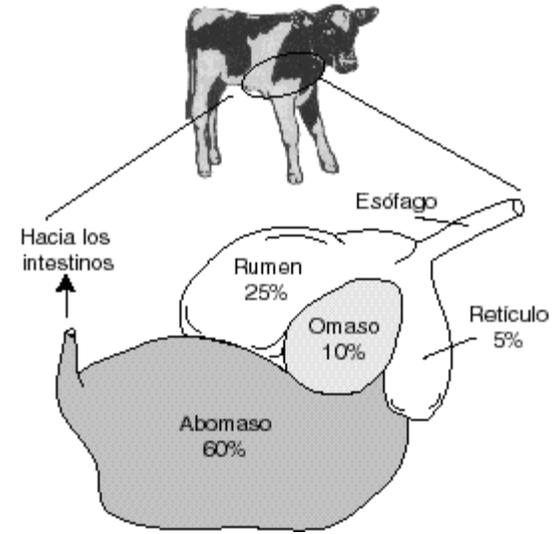


Cambios en la proporción de los compartimentos del estómago de rumiantes (%)

Nacimiento



Destete

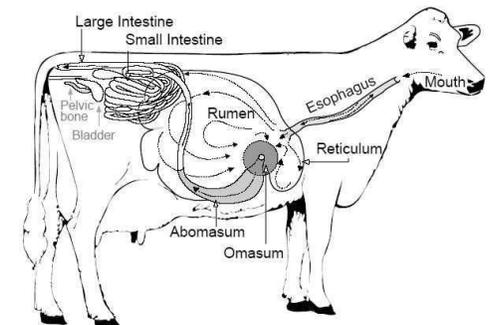


Cambios en la Transición de Pre Rumiante a Rumiante

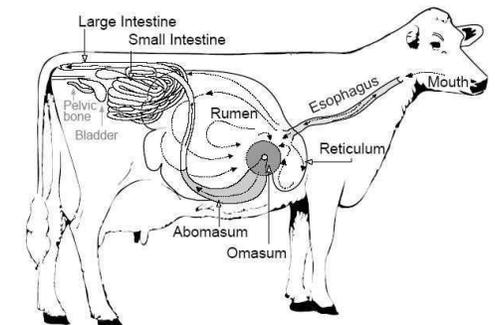
	Pre Rumiante	Transición	Rumiante
Dieta	liquida	liquida + sólida	sólida
Organo principal	abomaso	abomaso + rumen	retículo-rumen-omaso
Fuente energía	glucosa	glucosa + AGV	ácidos grasos volátiles
Fuente proteína	dietaria	dietaria + bacterias	bacterias + protozoos

Factores que influyen en el desarrollo del rumen

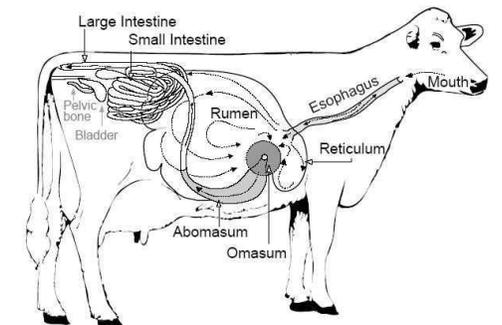
- ✓ Presencia de agua en el rumen
- ✓ Tránsito de contenido rúmino-reticular (actividad muscular)
- ✓ Absorción de los nutrientes por la mucosa del rumen
- ✓ Sustrato
- ✓ Nutrientes
- ✓ Forma física de la dieta



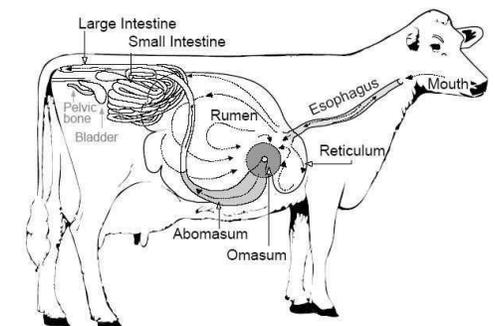
- ✓ El **consumo de agua** es uno de los factores que influyen en el desarrollo ruminal
- ✓ Para fermentar un sustrato (grano, heno) las bacterias ruminales precisan un ambiente acuoso
- ✓ La leche no reemplaza al agua libre debido a que no ingresa al rumen
- ✓ El mecanismo reflejo de la gotera esofágica es activo hasta las 12 semanas de edad
- ✓ Con leche solamente no podemos generar la humedad necesaria en el retículo-rumen



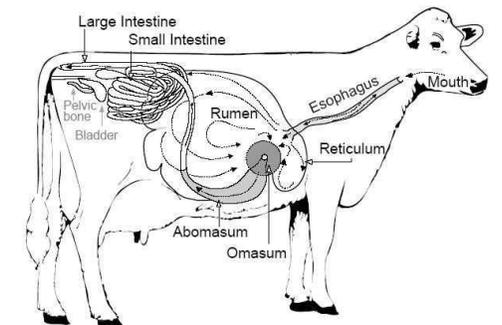
- ✓ Casi la totalidad del agua que ingresa al rumen proviene del consumo de agua libre
- ✓ Esta se encuentra contaminada con microorganismos ruminales, por lo tanto, contribuye a establecerlos en el rumen del ternero
- ✓ La disponibilidad de agua para los terneros de todas las edades estimula el consumo



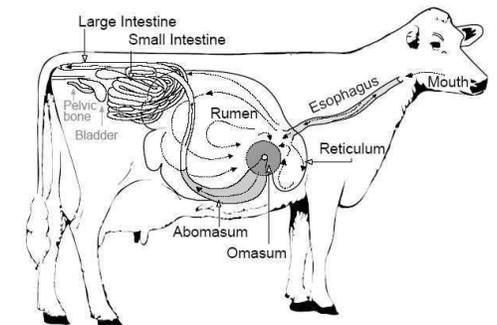
- ✓ Tránsito de contenido rúmico-reticular (**actividad muscular**) es otro de los factores que influyen en el desarrollo del rumen
- ✓ Con el incremento en el consumo de alimento seco, las contracciones del rumen comienzan, ya que la capa muscular mueve el contenido dentro del rumen
- ✓ En terneros alimentados con grano y heno, ya entre las dos y tres semanas de vida, las contracciones del rumen pueden ser medias



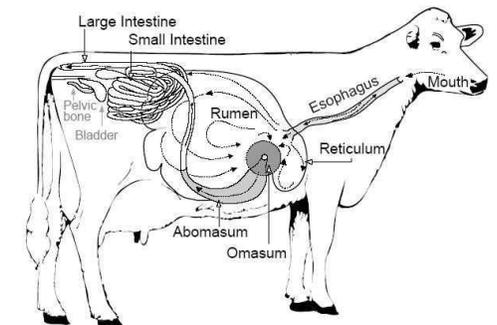
- ✓ El estímulo primario para el **desarrollo del epitelio** son los ácidos grasos volátiles (AGV) entre los que se encuentran el acetato, propionato y butirato
- ✓ Son las bacterias las que proveen los AGV para el desarrollo epitelial
- ✓ Los productos finales de la fermentación, particularmente los ácidos grasos volátiles, son absorbidos por el epitelio ruminal, donde incluso el propionato y el butirato son metabolizados en los adultos



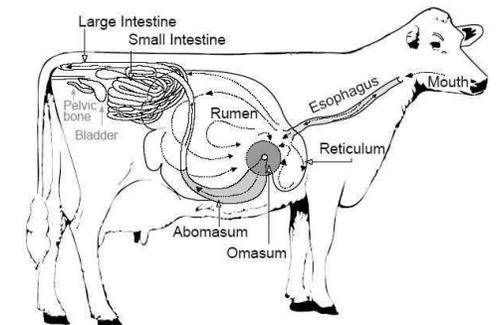
- ✓ Bacterias, liquido, motilidad ruminal y capacidad de absorción, se desarrollan rápidamente cuando el ternero comienza a consumir alimentos sólidos
- ✓ El factor primario que determina el desarrollo ruminal es el **consumo de alimento sólido**



- ✓ Hay un **cambio en los nutrientes disponibles** para los terneros a medida que el rumen se desarrolla
- ✓ La glucosa que inicialmente es disponible a partir de la digestión intestinal de la lactosa de la leche, con el desarrollo del rumen es reemplazada por los AGV, ahora disponibles a partir de la fermentación ruminal

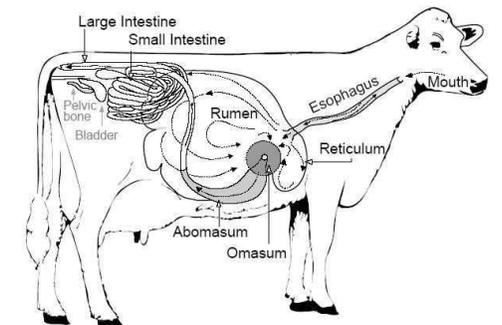


- ✓ La **alimentación** con heno permite la actividad física del rumen llamado efecto de rascado
- ✓ Este ayuda al desarrollo de la capa muscular del rumen y al mantenimiento del pH y de la sanidad de la mucosa del rumen
- ✓ Las papilas ruminales pueden crecer excesivamente en respuesta a niveles exagerados de AGV y los terneros terminar sufriendo hiperqueratosis de la mucosa

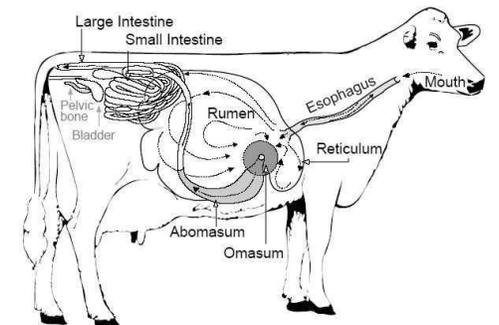


Digestión de los alimentos en rumiantes

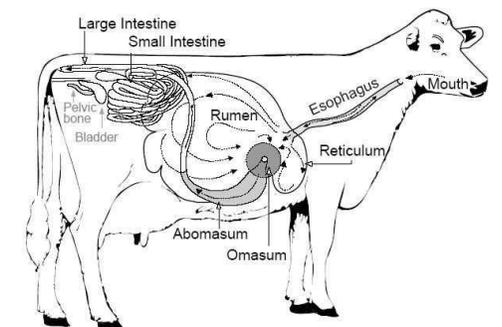
- ✓ Los rumiantes poseen la capacidad de retener y producir la digestión de los alimentos fibrosos, a través de los microorganismos, pero no poseen la capacidad de digerir a través de enzimas la celulosa
- ✓ Al consumir alimentos en rumiantes este ingresa al retículo, donde se mezcla con la saliva formando un bolo y se inicia el proceso de rumia a través de la regurgitación que incluye el contenido ruminal que flota en el líquido ruminal

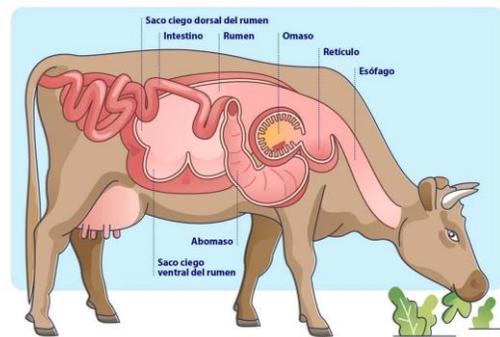


- ✓ La regurgitación hacia la boca le permite a la vaca re masticar el forraje reduciendo el tamaño de las partículas y facilitando el abandono del alimento del complejo rumen retículo
- ✓ La re salivación durante la rumia estabiliza el pH del rumen
- ✓ El material alimenticio pasa del rumen al omaso que es el órgano muscular que reduce más el tamaño de las partículas y elimina el exceso de agua



- ✓ Del omaso el bolo alimenticio pasa al estómago verdadero que corresponde al **abomaso** donde se expone a la hidrólisis ácida y de ahí se dirige al intestino delgado para la digestión enzimática y absorción de nutrientes
- ✓ La adecuada alimentación de los rumiantes se basa en alimentar las bacterias del rumen dado que la mayor parte del alimento digerido es producto de la fermentación ocurrida en el retículo - rumen

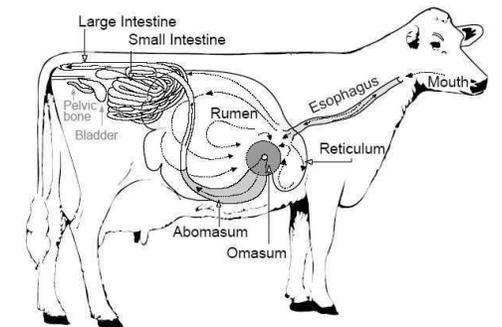




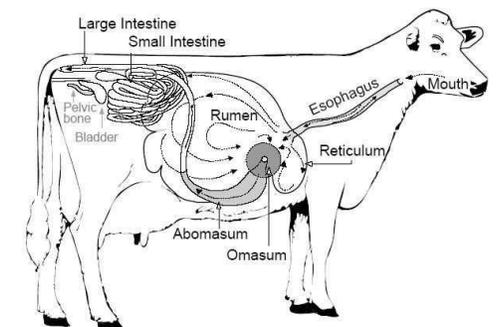
Funcionalidad del tracto digestivo

Labios, lengua y dientes

- ✓ La **lengua** es el órgano principal de aprehensión de la boca
- ✓ Es la lengua la que toma el forraje y otros alimentos y los lleva hacia la boca
- ✓ Los rumiantes no tienen dientes caninos ni incisivos superiores, sino que poseen un cojinete dental que reemplaza los incisivos superiores y provee una superficie contra la cual los incisivos inferiores pueden presionar para recortar el alimento

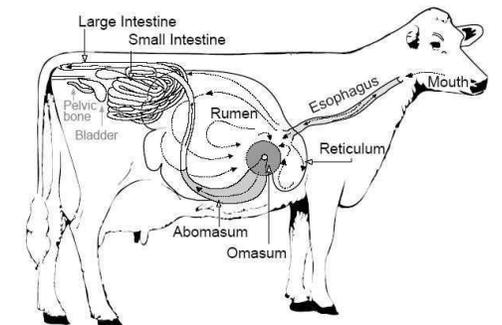


- ✓ El maxilar superior es más amplio que la mandíbula inferior, y esto posibilita que el animal utilice los molares de un solo lado a la vez
- ✓ Los movimientos laterales de la mandíbula junto a los molares muelen el alimento lo que incrementa la eficiencia de masticación durante la rumia



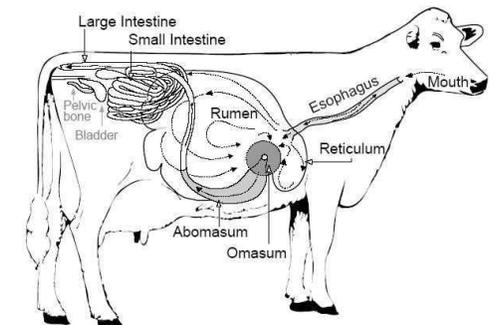
Glándulas salivales y esófago

- ✓ Hay diversas glándulas salivales localizadas en la boca
- ✓ Las glándulas secretan saliva donde se encuentra la amilasa salival y la lipasa salival
- ✓ El esófago es un tubo angosto de más de un metro de longitud
- ✓ El alimento y la saliva se mezclan en la boca y bajan por el esófago al rumen
- ✓ Durante el proceso de rumia, el contenido ruminal vuelve a través del esófago a la boca para una masticación adicional (regurgitación)

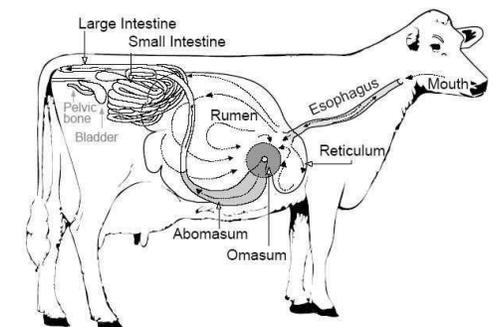


Retículo-rumen

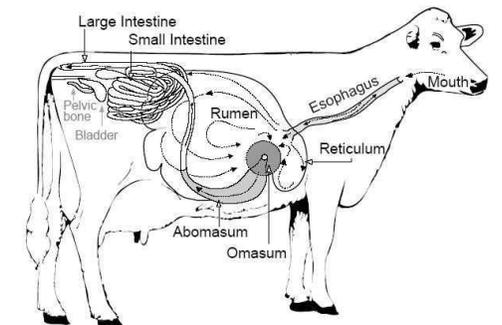
- ✓ Debido a la similitud y mezcla de su contenido los dos primeros compartimentos del estómago de los rumiantes se denominan complejo retículo-rumen, los cuales ocupan la mayor parte de la cavidad abdominal del animal
- ✓ El rumen se divide en tres sacos (craneal, dorsal y ventral) formado por fuertes bandas musculares, llamadas pilares
- ✓ El retículo-rumen es el componente más pesado del tracto gastrointestinal de la vaca y contiene 2/3 del contenido total



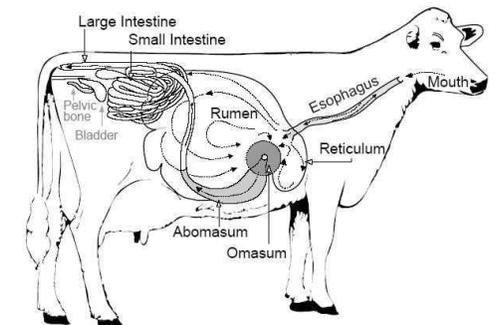
- ✓ En el complejo retículo-rumen los alimentos pasan casi la mitad del tiempo que recorren el tracto gastro intestinal, esto es, entre 40 y 72 horas
- ✓ Los pilares ubicados en el interior del rumen se contraen y relajan en un ciclo de contracción de entre 50 a 60 segundos
- ✓ Los miles de papilas que cubren la superficie interior del rumen incrementan el área de la superficie de absorción de los productos finales de la fermentación ruminal que corresponden a los ácidos grasos volátiles y el amoníaco



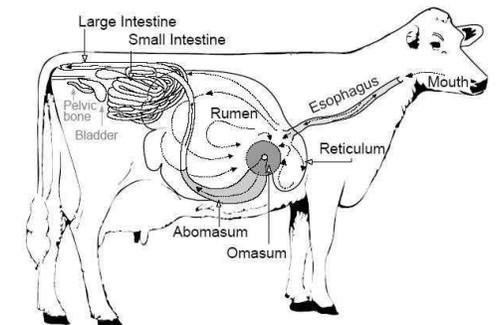
- ✓ El diseño del retículo-rumen permite la retención de partículas fibrosas de alimentos incrementando el tiempo que permite el desarrollo de la fermentación bacteriana
- ✓ La presencia de bacterias en el rumen permite a los rumiantes utilizar las paredes fibrosas de las células de los vegetales
- ✓ En los animales no-rumiantes, la energía en las paredes de las células vegetales queda inaccesibles



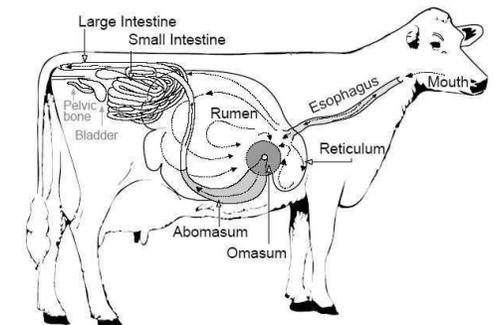
- ✓ El retículo es un saco que se ubica en el frente del rumen
- ✓ Este saco está separado del rumen dorsal por la apertura del esófago (cardias) y del rumen ventral por una partición denominada pliegue retículo-ruminal
- ✓ La superficie del interior del retículo (paredes) tiene la apariencia de un "panal". Como parte del ciclo de contracción del retículo-rumen, el desplazamiento de este pliegue, acompañado por una fuerte contracción del retículo, propulsa el alimento digerido hacia arriba que permite vaciar el retículo



- ✓ Las partículas más pequeñas y densas pasan a través de la apertura retículo-omasal, hacia los pliegues del omaso. Las partículas más grandes y menos densas regresan hacia el rumen ventral
- ✓ El movimiento del retículo juega un papel importante en el tamizar y separar las partículas del alimento digerido antes de que puedan salir del complejo retículo-rumen
- ✓ La apertura del esófago y el orificio retículo-omasal forman la entrada y salida del retículo-rumen respectivamente

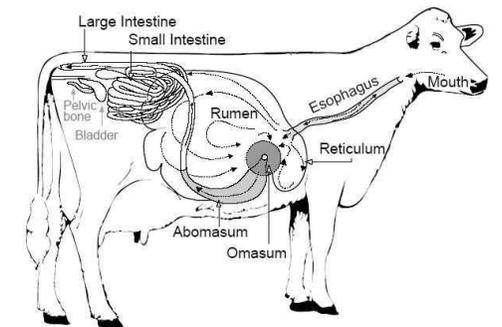


- ✓ La apertura del esófago y el orificio retículo-omasal están ubicados uno cerca del otro y están ligados por el canal esofágico
- ✓ En el ternero recién nacido los labios del canal se cierran para formar un tubo, a través del cual la leche pasa directamente del esófago al abomaso sin entrar al rumen (surco ventricular o **gotera esofágica**)
- ✓ En los rumiantes adultos el canal esofágico no es funcional



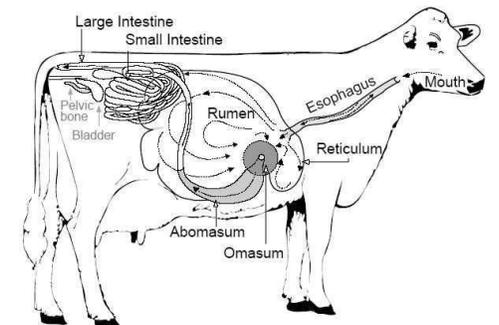
Omaso

- ✓ El omaso está constituido por una gran cantidad de pliegues musculares
- ✓ Aunque el omaso es relativamente grande solo contiene el 4% del peso del alimento digerido en el tracto digestivo del rumiante
- ✓ El omaso tiene un rol fundamental en la absorción de agua y minerales (sodio y bicarbonato) derivados del líquido que entra con el alimento digerido por el rumen
- ✓ El agua no diluye el ácido secretado por el abomaso y los minerales pueden ser reciclados a la saliva

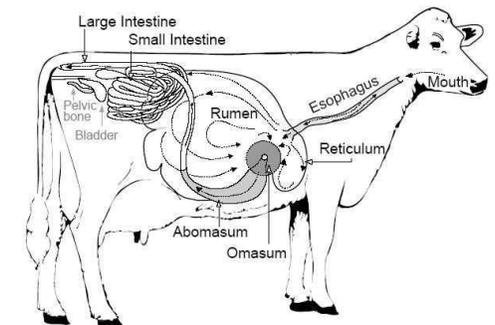


Abomaso

- ✓ El abomaso secreta enzimas y ácido clorhídrico de la misma forma que el estómago de un animal monogástrico
- ✓ El interior del abomaso está formado por muchos pliegues que incrementan el área secretoria de este órgano
- ✓ El abomaso tiene dos secciones: el fondo es el sitio principal para la secreción del ácido clorhídrico (HCl) y las enzimas que operan en un medio ácido y la región pilórica es donde el alimento digerido (digesta) se acumula antes de ser propulsada hacia el duodeno como un bolo discreto

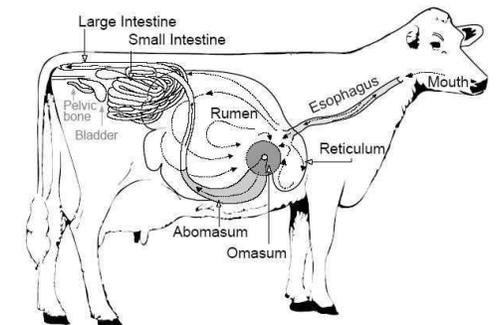


- ✓ Las partículas parcialmente digeridas que salen del rumen son una mezcla de fibra, proteína *by-pass* (que escapa a la degradación ruminal) y microorganismos ruminales
- ✓ Esta mezcla pasa al omaso donde son concentrados por absorción del agua desde donde ingresan al abomaso
- ✓ En el abomaso con la secreción de ácido clorhídrico resulta un pH ácido de entre 2 y 3 que provoca la muerte de los microorganismos
- ✓ De esta forma la proteína *by-pass* y la microbiana son digeridas en el abomaso e intestino delgado con lo cual se cumple con los requerimientos de los aminoácidos esenciales



Mucosas de los compartimentos del estomago

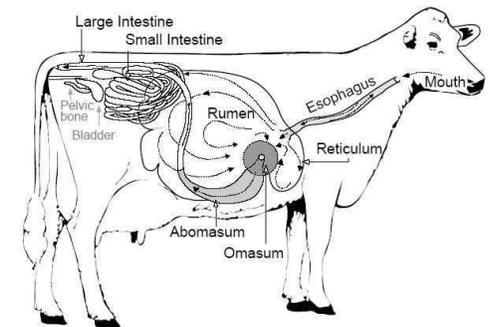
- ✓ La **mucosa del rumen** es no glandular y se encuentra cubierta por un epitelio escamoso estratificado cornificado
- ✓ En los terneros esta mucosa es de color claro, pero en la medida que avanza la edad se torna amarillenta o castaño oscuro por los alimentos
- ✓ La membrana mucosa forma papilas de un centímetro de largo
- ✓ Las papilas del rumen tienen por función aumentar la superficie de absorción de ácidos grasos primarios y sodio además de una función mecánica, aumentando la fricción de los alimentos con la pared del rumen



- ✓ La **mucosa del retículo** es aglandular (no genera secreciones) y forma celdas permanentes de 8 a 12 mm de altura que se entrecruzan formando pequeñas celdas que se subdividen formando celdas más chicas revestidas por diminutas papilas
- ✓ En el interior de los bordes de las celdas hay cuerdas de fibras musculares prominentes
- ✓ La capa muscular del retículo está muy desarrollada, pudiendo llegar a ocluir el lumen (cavidad interna) con su contracción, llevando la ingesta hacia el rumen

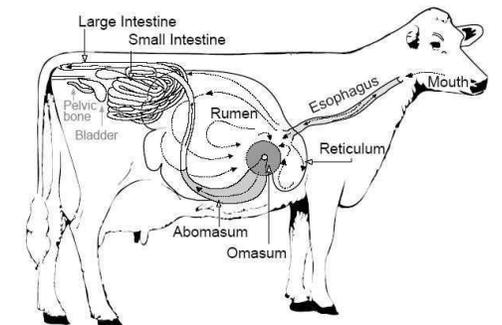


- ✓ La función de las celdas de la mucosa del retículo es discutida
- ✓ El alimento fino permanece en la mucosa del retículo y por contracción pasa al omaso
- ✓ El alimento menos descompuesto es devuelto al rumen

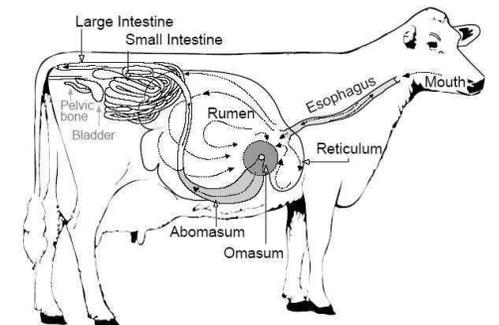


Intestino delgado

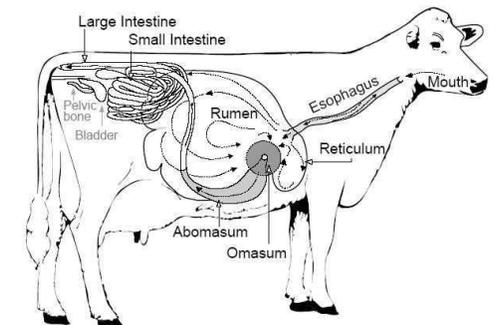
- ✓ El intestino delgado es un tubo largo dividido en tres secciones el duodeno, el yeyuno y el íleon
- ✓ El intestino delgado es un tubo de aproximadamente 46 m de longitud y de entre 1 a 4,5 cm de diámetro en un animal adulto
- ✓ Las papilas microscópicas que posee en sus paredes incrementan su superficie en forma mayor a la que posee su masa total



- ✓ Corresponde al sitio principal para la absorción de los productos finales de digestión
- ✓ Es parte del tracto digestivo que posee una de las células más activas del cuerpo del rumiante
- ✓ La "esperanza de vida" de una proteína formada por las células intestinales es aproximadamente un día a diferencia de la esperanza de vida de las proteínas del músculo esquelético que es un mes

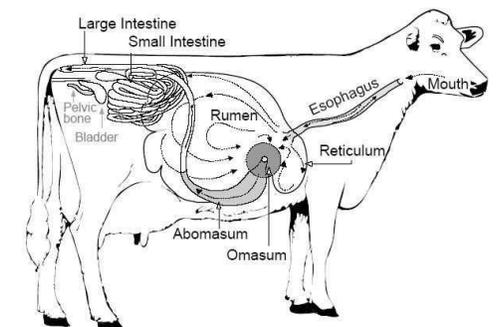


- ✓ Las enzimas secretadas por el páncreas y la superficie del intestino delgado digieren proteínas, carbohidratos y grasas
- ✓ La bilis proveniente del hígado permite en esta zona del tracto digestivo ayudar a digerir y preparar las grasas para ser absorbidas por el duodeno vía al ducto biliar

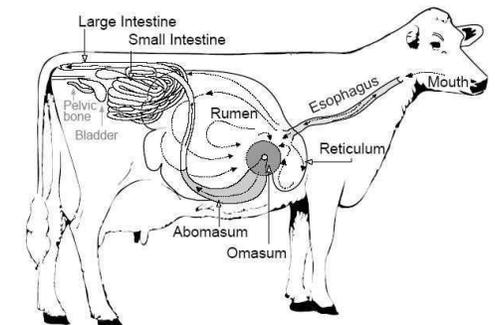


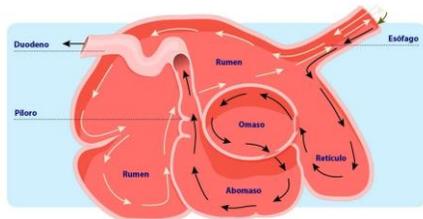
Intestino grueso

- ✓ El ciego es la primera sección del intestino grueso
- ✓ El ciego es un área separada del flujo principal del tracto gastrointestinal
- ✓ Funciona como un sitio que permite la fermentación microbiana después de la digestión ácida dentro del abomaso y la digestión enzimática del intestino delgado



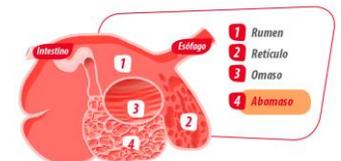
- ✓ En algunas especies animales (caballo y conejo) el ciego contribuye significativamente a la fermentación microbiana, pero es relativamente pequeño
- ✓ El colon que se encuentra subdividido en el colon proximal y el colon espiral tiene una baja contribución a la digestión y absorción de nutrientes
- ✓ El colon es donde se forman las heces
- ✓ La superficie del intestino grueso no tiene papilas, pero fácilmente absorbe agua y minerales



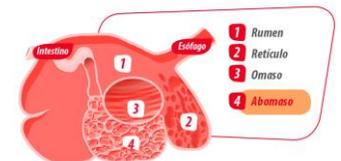


Función de los microorganismos del rumen

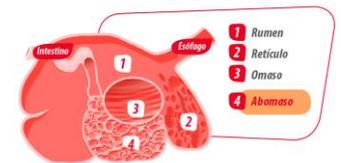
- ✓ Las principales funciones de los microorganismos en el rumen son las siguientes:
 - ✓ Digestión de los carbohidratos presentes en los vegetales como son la celulosa, hemicelulosa, almidón y azúcares para transformarlos en glucosa
 - ✓ Convertir la glucosa en ácidos grasos volátiles (AGV) como son el ácido acético, propiónico y butírico
 - ✓ Digestión de las proteínas contenidas en los vegetales
 - ✓ Síntesis de proteína bacterianas
 - ✓ Síntesis de vitaminas, principalmente las hidrosolubles como son las vitaminas del complejo B y K
 - ✓ Digestión de las grasas
 - ✓ Hidrogenación de las grasas insaturadas



- ✓ Las bacterias fermentan los carbohidratos y los transforman en azúcares simples que son fermentados por otro tipo de bacterias que producen los AGV, dióxido de carbono y metano
- ✓ Los AGV (acético, propiónico y butírico) son absorbidos por la pared ruminal y conducidos hacia el torrente sanguíneo constituyéndose en la principal fuente de energía de los rumiantes

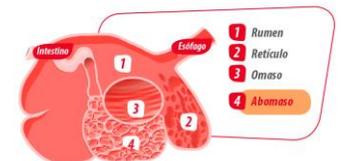


- ✓ Las proteínas de la dieta son fraccionadas en aminoácidos y amonio
- ✓ El amonio y los péptidos simples pueden ser incorporados en las proteínas microbianas para ser nuevamente fuentes de proteína en la digestión del intestino delgado
- ✓ El exceso de amonio que no es utilizado en la síntesis de la proteína microbiana es absorbido a través de las paredes del rumen convirtiéndose en urea en el hígado la cual será excretada por la saliva y la orina
- ✓ Otra actividad de la fermentación es la hidrogenación de los ácidos grasos y la síntesis de las vitaminas del complejo B y K



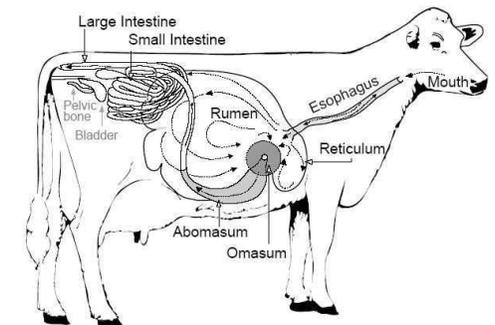
Generación de gases

- ✓ Durante el periodo de fermentación ruminal se producen principalmente dos gases: Anhídrido Carbónico y Metano que son eliminados por vía sanguínea o por medio de la eructación
- ✓ La mayor parte del gas se desplaza por el retículo y es expulsado por mientras los alimentos digeridos se mantienen en el pliegue del retículo ruminal
- ✓ Cuando se produce espuma esto impide que los alimentos digeridos bajen y dejen libre el esófago (cardias) y con ello los gases quedan atrapados sin poder salir provocando lo que se denomina **meteorismo, timpanismo o empaste**

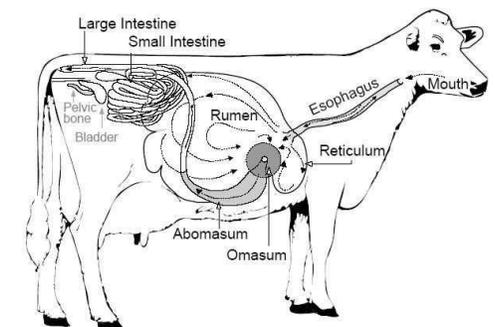


Digestión de los alimentos

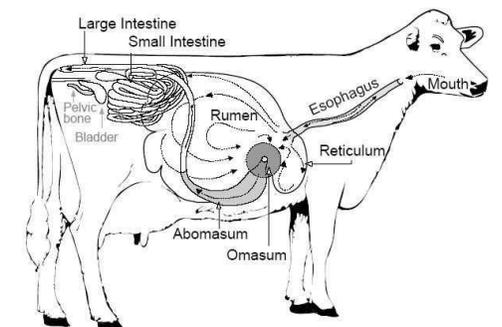
- ✓ La principal función que cumple el proceso de digestión de los alimentos una vez que el animal los consume es transformar los nutrientes organizados en moléculas complejas en componentes químicos sencillos capaces de traspasar la pared intestinal
- ✓ La celulosa es un carbohidrato complejo que no puede ser utilizado como nutriente en el cuerpo de un rumiante, pero la fermentación ruminal la convierte en AGV que una vez absorbidos en la sangre se transforman en precursores de la producción de leche y lactosa



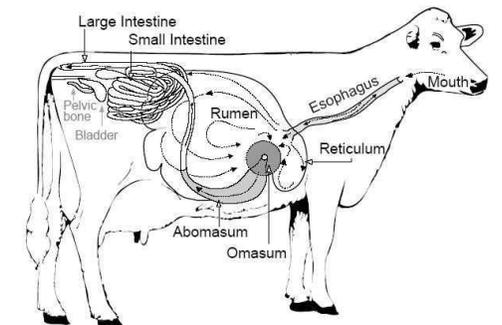
- ✓ Parte de los alimentos no son digeridos por el animal que es eliminado a través de las fecas y orina y otra parte no requiere digestión como son los azúcares simples y los aminoácidos muy solubles
- ✓ En rumiantes los componentes que no requieren digestión son habitualmente utilizados por la flora microbiana del rumen en vez de ser absorbidos directamente



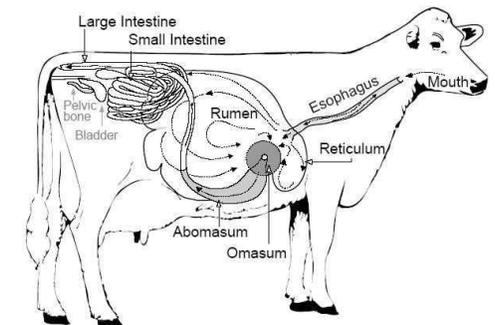
- ✓ El proceso se inicia con la toma del alimento que es recogido por la lengua y llevado a la boca desde donde pasará al esófago y de ahí al retículo-rumen.
- ✓ Las partículas grandes de fibra se regurgitan hacia la boca para desarrollar el fraccionamiento físico del alimento (rumia) para luego volver nuevamente al retículo-rumen
- ✓ Parte de los productos de fermentación como son los AGV pueden pasar directamente a la sangre a través de las paredes del retículo-rumen



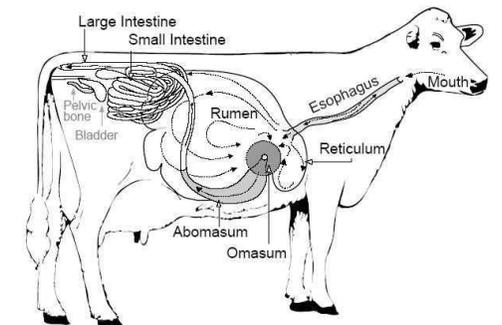
- ✓ La porción más líquida de los alimentos digeridos permanece en el rumen de entre 10 y 12 horas
- ✓ Las partículas de fibra pueden ser retenidas en el rumen de entre 20 y 48 horas
- ✓ El material digerido que sale del retículo-rumen contiene pequeñas partículas de alimentos que han escapados de la fermentación que pueden ser una fuente de proteína derivada de la actividad de los microorganismos provenientes del rumen



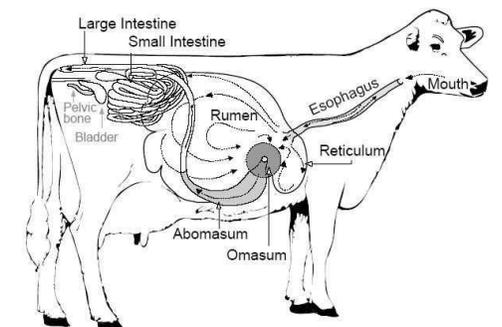
- ✓ El material digerido pasa a través del orificio retículo omasal, de los pliegues del omaso para posteriormente ingresar al abomaso
- ✓ La acidez del ambiente del abomaso detiene la actividad de las bacterias provenientes del rumen
- ✓ Bajo esta condición se inicia la **digestión ácida**
- ✓ Luego de una permanencia de pocas horas en el abomaso el material digerido pasa a través del del orificio pilórico hacia la primera sección del intestino delgado que corresponde al duodeno



- ✓ El páncreas secreta enzimas digestivas y el hígado secreta bilis. Ambas secreciones se mezclan con el alimento digerido e ingresan al intestino delgado donde se produce la digestión enzimática
- ✓ En el intestino delgado los productos de la digestión enzimática traspasan las paredes del intestino e ingresan a la sangre
- ✓ Al final del intestino delgado, los residuos no digeridos ingresan al ciego, que corresponde a un órgano colonizado por otra población de bacterias



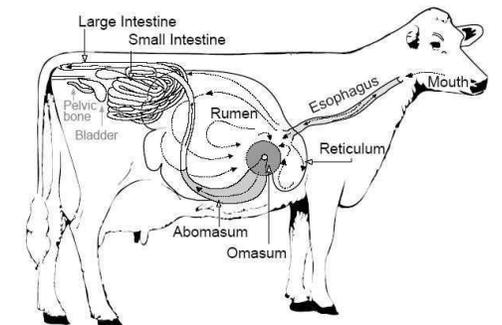
- ✓ En el ciego ocurre una fermentación similar a la fermentación ruminal pero menos activa
- ✓ Los residuos no digeridos en el ciego ingresan al intestino grueso donde se absorbe parte del agua residual
- ✓ La materia no digerida forma las heces que son eliminadas a través del recto



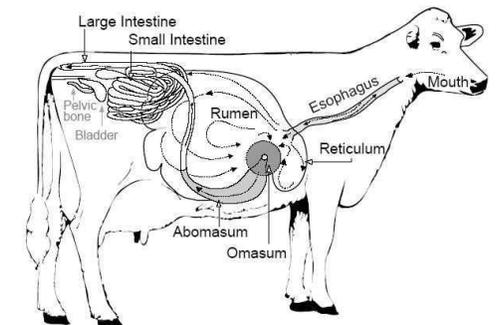
Funciones de la masticación

✓ Las principales funciones de masticación durante la alimentación de un rumiante son las siguientes:

1. Mezclar los alimentos con saliva
2. Reducir el tamaño de las partículas
3. Incrementar la solubilización de los nutrientes disponibles dentro de los alimentos, haciéndolos accesibles a las bacterias del rumen
4. Formar un bolo de alimentos que puede ser tragado



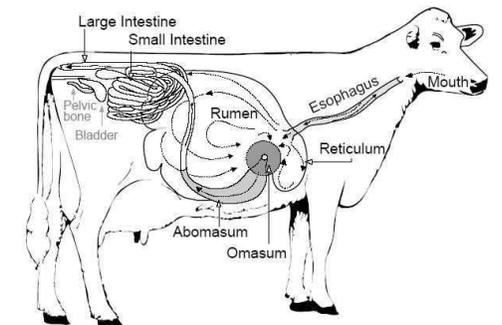
- ✓ La velocidad de consumo de los pastizales al estado vegetativo, los granos y los alimentos paletizados en rumiantes es muy rápida, pero los forrajes fibrosos requieren de un proceso de masticación importante antes de que el animal los pueda tragar
- ✓ De acuerdo con la estructura de la boca los rumiantes son eficientes en fraccionar las partículas grandes a partículas más pequeñas, pero no se han adaptado al morder
- ✓ Los rumiantes tienen una tendencia a tragarse los tubérculos pequeños como papas, nabos, colinabos y remolacha y en ocasiones los animales pueden atragantarse en el proceso, razón por la cual se deben particionar antes de otorgarla a los animales



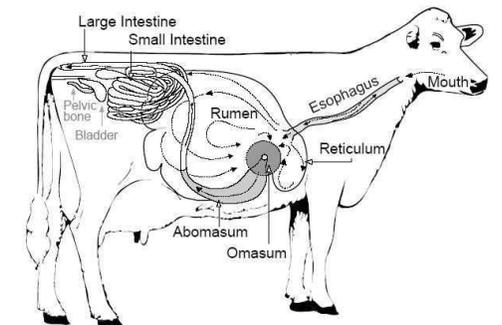
Función de la salvación

✓ Las principales funciones de la salivación son las siguientes:

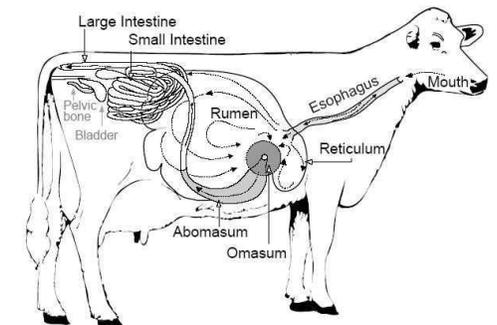
1. Adicionar agua al contenido ruminal que diluye los ácidos y facilitar el flujo de partículas al interior y exterior del complejo retículo-rumen
2. Mantiene un ambiente sano a nivel ruminal a través del efecto amortiguador
3. Lubricar los alimentos lo cual permite la formación de un bolo
4. Surtir de algunos nutrientes a los microorganismos ruminales como son el nitrógeno disponible en la forma de urea, fosfatos, magnesio, cloro entre otros
5. Incorpora mucina que permite reducir la incidencia de meteorismo



- ✓ La saliva de rumiantes posee una importante cantidad de sodio y otros minerales
- ✓ Otros componentes de importancia son el bicarbonato y fosfatos que funciona como un controlador de la reducción de la acidez (pH) importante para la mantención de una fermentación adecuada a nivel ruminal
- ✓ Los rumiantes poseen diversas glándulas que secretan saliva y su producción es de 120 ml/min durante la alimentación y 150 ml/min durante la rumia. Cuando el animal deja de masticar la producción de saliva continúa a una tasa de 60 ml/min

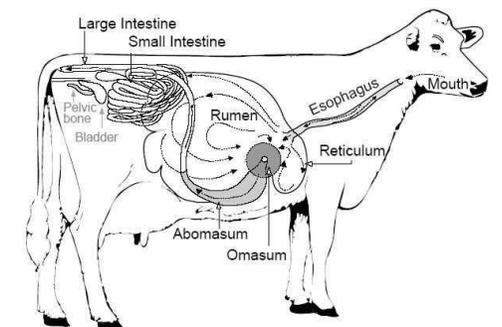


- ✓ En dietas con alto contenido de forraje y fibra los animales adultos pueden masticar por más de 10 horas y la producción de saliva puede exceder 140 litros/día
- ✓ La cantidad de saliva secretada cada día está relacionada con la estructura física de los alimentos consumidos
- ✓ En la ausencia de salivación, la acidez del rumen aumenta (acidosis) y disminuye la actividad microbiana
- ✓ Durante la acidosis, la vaca pierde su apetito y en casos severos ($\text{pH} < 4,5$) la actividad microbiana se interrumpe, situación que puede derivar en la muerte del animal



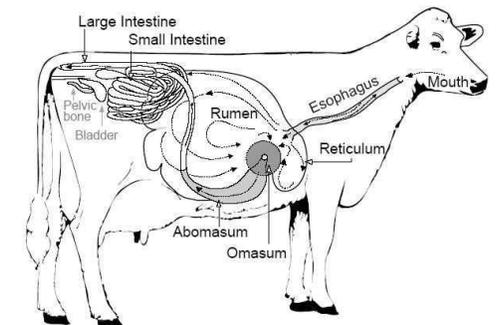
Función de la rumia

- ✓ La rumia significa que el bolo ya tragado por el animal vuelve a la boca para ser re masticado
- ✓ La parte líquida y de pequeñas partículas que contiene el bolo que regreso a la boca rápidamente se exprimen y vuelven al retículo-rumen
- ✓ Las partículas y fibras largas re mastican por 50 a 60 segundos antes de que regresen al retículo-rumen
- ✓ Así, la rumia es un proceso normal y vital para la digestión normal del alimento en un rumiante

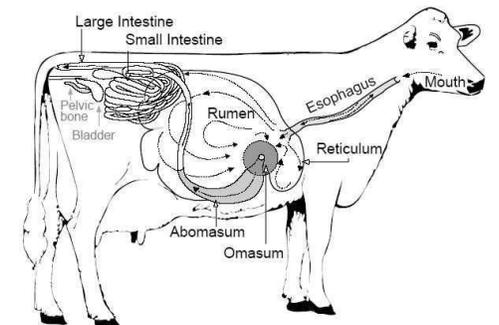


✓ Las principales funciones de la rumia son las siguientes:

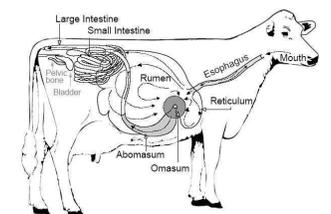
1. Aumento de la producción y disponibilidad de saliva
2. Reducción del tamaño y aumento de la densidad de las partículas que determinan el tiempo de estadía de éstas en el rumen
3. Ayudar a separar las partículas que salen del rumen y que requieren un mayor tiempo de fermentación
4. Mejoramiento de la digestión de la fibra exponiendo una mayor superficie para la acción microbiana



- ✓ El reflejo de la rumia se estimula con el consumo de alimentos que contiene fibra larga
- ✓ Los alimentos molidos en forma muy fina pasan menos tiempo en el proceso de rumia lo cual puede tener efectos negativos en la producción de grasa en la leche
- ✓ Hay que considerar que **una indicación de buena salud de un rumiante** es cuando los animales mastican mucho

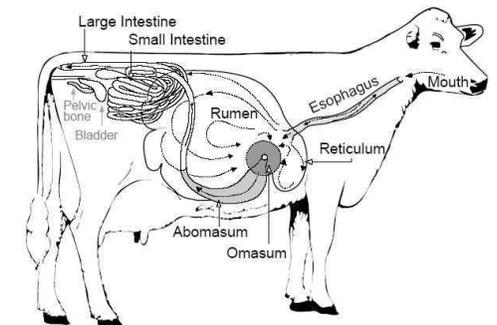


- ✓ La masticación es sinónima que el animal produce mucha saliva que le permite proveer al rumiante un ambiente ruminal sano con excelente desarrollo de los microorganismos a nivel ruminal
- ✓ Un animal sano puede realizar entre 40.000 y 45.000 movimientos de su mandíbula por día
- ✓ Es habitual que a nivel de campo se observe la proporción de animales en rumia para definir si la dieta del ganado posee suficiente fibra
- ✓ Si al menos una tercera parte de los animales están rumiando, hay suficiente fibra en la dieta proporcionada al rebaño

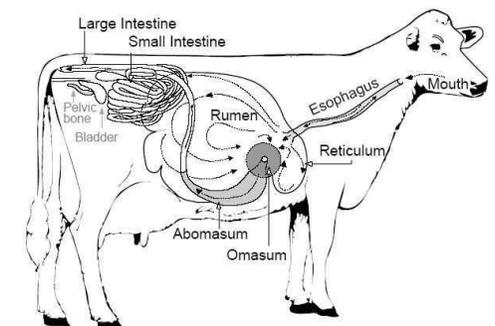


Función de la fermentación ruminal

- ✓ Un mililitro (centímetro cúbico) de contenido ruminal (licor ruminal) posee de entre 16.000 y 40.000 millones de bacterias y 200.000 protozoos
- ✓ En el contenido ruminal también existen hongos que forman parte de la población normal de microorganismos del rumen
- ✓ Dependiendo del tipo de alimento que consume el animal son las especies de microorganismos que predominan en el contenido ruminal
- ✓ Según las especies de bacterias que predominan es la cantidad y proporción de AGV generados en el ambiente ruminal

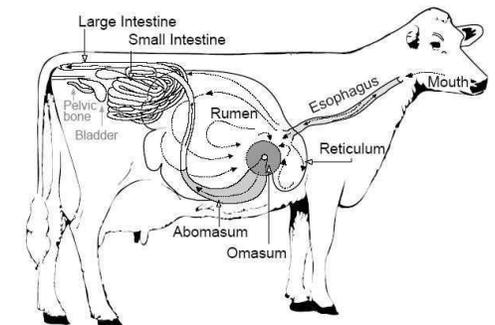


- ✓ El rumen es un saco que presenta condiciones especiales para el crecimiento de microorganismos
- ✓ En una condición de anaerobiosis, con pH de entre 5,5 y 7,0, temperatura de 39°C a 40°C permite el desarrollo de microorganismos en forma profusa que se nutren del alimento que ingresa en forma continua
- ✓ Los productos finales de la fermentación son principalmente AGV y amoníaco los cuales se absorben a través de las paredes del rumen



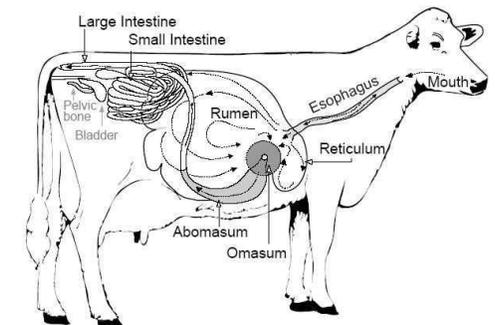
✓ Para un rumiante las principales ventajas de la fermentación ruminal son las siguientes:

1. Lograr extraer energía a partir de los carbohidratos complejos que de otra forma permanecerían incluidos en la estructura fibrosa de las plantas
2. Transformar las diferentes fuentes de nitrógeno incluido el nitrógeno no proteico (NNP) en proteína bacteriana de calidad y equilibrada respecto a las necesidades del animal como es la síntesis de proteína de la leche
3. Sintetizar vitaminas del complejo B y vitamina K que permite prescindir de estas vitaminas en la dieta de los animales
4. Generar algunas desintoxicaciones a partir de tipos de toxinas incorporadas a partir del alimento

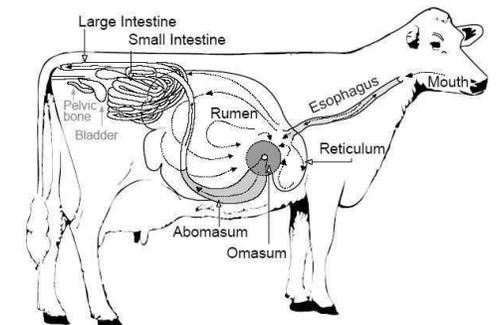


✓ También existen complejidades que se generan a través de la fermentación ruminal:

1. La rápida fermentación de algunos carbohidratos en el rumen se encuentra asociado a la pérdida de energía en forma de gases, como son el metano y bióxido de carbono
2. Degradación parcial de proteínas de alto valor biológico que genera pérdida de amoníaco cuando las bacterias no son suficientes para incorporar todo el amoníaco producido para formar proteína bacteriana
3. El consumo de una alta proporción de fibra en la dieta puede limitar la capacidad de ingesta de energía

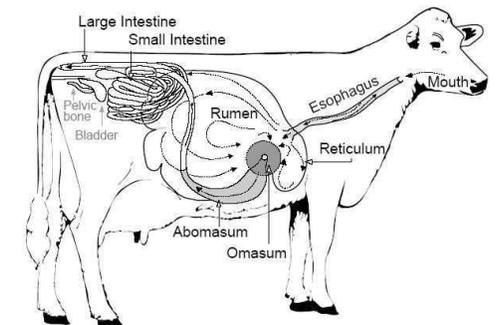


- ✓ Los microorganismos del rumen pueden responder en forma rápida a los cambios en la composición de la dieta, pero los animales necesitan más tiempo para adaptarse a los cambios en los productos finales de la fermentación
- ✓ De lo anterior se desprende la importancia que posee la gradualidad que se debe considerar en los cambios en la composición de la dieta (4 a 5 días)
- ✓ La producción diaria de bacterias en el rumen cambia según la cantidad de energía disponible para los microorganismos y por la cantidad de energía ingerida a través de los alimentos
- ✓ Las **proteínas bacterianas** se digieren en el intestino delgado y son la principal fuente de aminoácidos para un rumiante

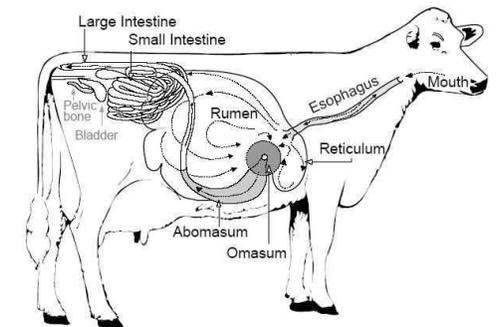


Función del abomaso

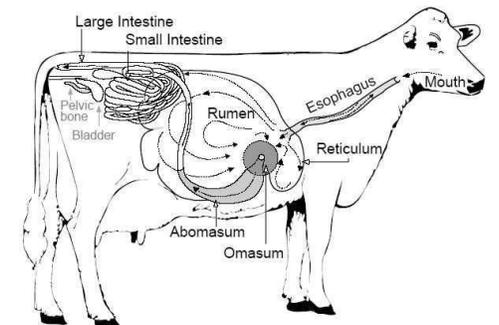
- ✓ Una vez que el alimento digerido ingresa al abomaso cesa la actividad microbiana debido al ambiente ácido que posee este compartimento del tracto digestivo de un rumiante
- ✓ El abomaso secreta ácido clorhídrico, enzimas, pepsina y renina
- ✓ Cuando el alimento digerido alcanza un nivel ácido en el abomaso, esto es cercano a pH 2 el material digerido ingresa al intestino a través del píloro



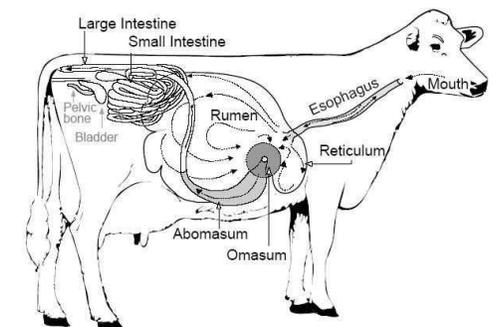
- ✓ Esta masa semifluida que resulta de la digestión parcial del alimento a nivel del abomaso se denomina **quimo** nombre que proviene del griego “chymos” que significa jugo
- ✓ El quimo es una mezcla de alimento parcialmente digerido, agua, ácido clorhídrico y enzimas digestivas formadas en el abomaso
- ✓ Las secreciones que ingresan al duodeno y se mezclan con el quimo contienen enzimas que pueden hidrolizar proteína (proteasas), almidón (amilasas) y grasa (lipasas)



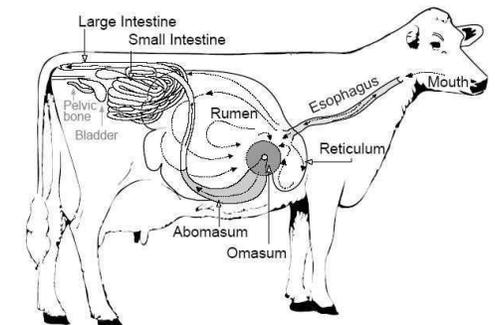
- ✓ Las proteínas se reducen en péptidos y amino ácidos
- ✓ El almidón y otros polisacáridos se hidrolizan en azúcares sencillos tales como glucosa, fructuosa, entre otros
- ✓ Las grasas se hidrolizan a su estructura básica de glicerol (azúcar) y tres ácidos grasos, los cuales consisten en largas cadenas de carbonos que terminan en grupos ácidos



- ✓ La acción combinada del ácido clorhídrico y las enzimas digestivas, junto con la acción mecánica de los músculos del estómago, que mezclan y agitan los alimentos, permiten la formación del **quimo**
- ✓ El quimo es una mezcla semifluida, de consistencia similar a una papilla, que incluye partículas de alimentos parcialmente digeridos y las enzimas y ácidos que continúan el proceso de digestión
- ✓ En el intestino el quimo se mezcla con las secreciones del páncreas, el hígado y el intestino mismo, que contienen enzimas y bicarbonato para continuar la digestión y neutraliza la acidez del quimo

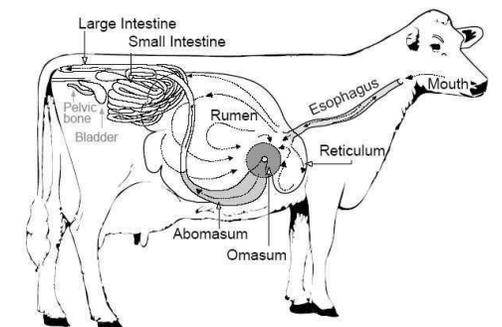


- ✓ Las enzimas en el intestino, como las proteasas, las lipasas y las amilasas, descomponen aún más las proteínas, las grasas y los carbohidratos en componentes más pequeños que pueden ser absorbidos en el torrente sanguíneo
- ✓ Una vez que todos los nutrientes han sido extraídos del quimo, los restos indigeribles pasan al intestino grueso, donde se formará el material fecal
- ✓ El quimo es un componente esencial del proceso de digestión que facilita la descomposición de los alimentos en nutrientes que pueden ser absorbidos por el animal
- ✓ Las perturbaciones en la formación del quimo pueden generar problemas en la salud animal y reducción en la absorción de nutrientes



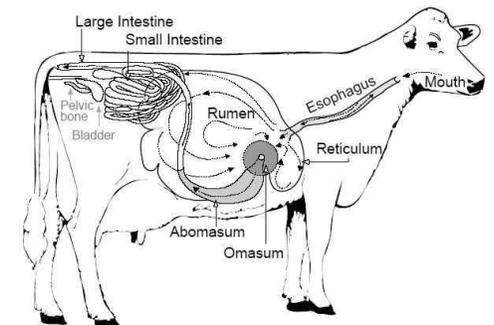
Función de los intestinos

- ✓ La absorción de los productos de digestión en los intestinos ocurre principalmente en la segunda parte del intestino delgado
- ✓ Los aminoácidos y los péptidos pequeños resultantes de la digestión de proteína y azúcares sencillos, tales como glucosa de la digestión de carbohidratos, pasan a las células que forman los intestinos y entrar a los capilares sanguíneos
- ✓ La absorción de los ácidos grasos de cadena larga es más compleja y requiere la presencia de sales biliares
- ✓ El intestino grueso no secreta enzimas digestivas, pero la absorción, especialmente de agua, ocurre en esta fracción del tracto digestivo

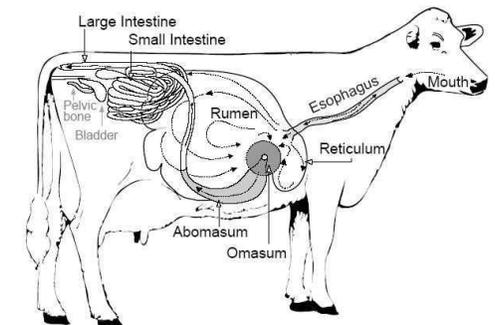


Heces y orina

- ✓ Los principales componentes de las defecaciones (heces o fecas) que salen del recto por el ano poseen las siguientes fracciones:
 - ✓ Residuos de alimentos no digeridos
 - ✓ Enzimas digestivas
 - ✓ Células eliminadas del tracto intestinal
 - ✓ Microorganismos o residuos de estos no digeridos



- ✓ El volumen de fecas que produce un animal al día cambia de acuerdo con la tasa de ingestión de alimentos y a la composición de la dieta
- ✓ Animales alimentados con una dieta alta en forrajes voluminosos producen más fecas que las vacas alimentadas con concentrados que tienen un alto contenido de granos y materia seca
- ✓ En promedio una vaca de 600 kg de PV puede alcanzar una producción de 10.000 kilos de excreta (fecas y orina) al año
- ✓ La materia seca de las fecas posee un 85% de materia orgánica y 15% de minerales
- ✓ El 90% del fósforo excretado por el animal se encuentra en las fecas



Anatomía del Sistema Digestivo de los Rumiantes

Rolando Demanet Filippi
Dr. Ingeniero Agrónomo
Facultada de Ciencias Agropecuarias y Medio Ambiente
Universidad de la Frontera

Cátedra de Producción de Carne
2024