

SISTEMA DIGESTIVO POLIGÁSTRICO - BOVINO

INTRODUCCIÓN

La mayor diferencia entre los individuos monogástricos, como el cerdo, y los poligástricos, como los bovinos, está dada por la estructuras del aparato digestivo y por la forma como metabolizan los productos alimenticios por lo que para poligástrico sólo se revisará esta porción de su anatomía.

La digestión involucra una serie de procesos que degradan los alimentos, convirtiéndolos en sustancias capaces de ser absorbidas y transportadas hacia la sangre, para así estar disponibles a los tejidos del cuerpo, y este cumplir con las funciones de crecimiento y producción.

Los bovinos, ovinos, caprinos, llamas, alpacas y guanacos, son animales herbívoros cuyas dietas están compuestas principalmente de materia vegetal. Algunos son rumiantes, condición dada ya que digieren los alimentos en dos etapas, primero los consume y luego realiza la rumia, proceso que consiste en regurgitar el material semidigerido y volverlo a masticar.

Los bovinos, ovinos y caprinos poseen un estómago compuesto, formado por cuatro compartimentos (poligástrico) en donde existe una estrecha relación con los microorganismos del rumen quienes le permiten al rumiante la habilidad de usar carbohidratos complejos, tales como celulosa (componente de tejidos de plantas) y N no-proteico (NNP) ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ y NH_3) y convertir forrajes, residuos de cultivos, y desechos agro-industriales a alimentos altamente nutritivos y comidas palatables (leche y carne) para seres humanos.

Esta relación se llama simbiótica porque es mutuamente beneficiosa para el animal y los microorganismos. Después de la fermentación microbiana en el rumen, la estructura y la función del tracto digestivo de los bovinos, y los procesos que ocurren allí, son similares a las de los animales monogástricos (aquellos que poseen un sólo estómago).

ESTRUCTURA Y FUNCIÓN

Las cuatro cavidades presentes en el estómago de una vaca corresponden al retículo, rumen, omaso y abomaso, los tres primeros se llaman frecuentemente los pre-estómagos y son propios de los animales rumiantes. (FIGURA 1) (FIGURA 2) El resto del tracto gastrointestinal, incluyendo el abomaso, el intestino delgado, el ciego y el intestino grueso son semejantes a los de animales no rumiantes. En la TABLA 1 se indica el peso de cada órgano vacío relativo al peso del contenido del órgano.

Tabla 1. Componentes del tracto digestivo, capacidad y longitud, en una vaca adulta.

Componentes del tracto	Capacidad		Longitud
	% *	Kg **	m
Retículo-Rumen	67	±100	--
Omaso	5	± 11	--
Abomaso	4	± 14	--
Intestino delgado	21	± 45	± 46.0
Ciego	--	± 7	± 0.9
Intestino grueso	13 ***	± 21	± 10.0
Total	100	198	

* Digesta seca en el tracto gastrointestinal.** Peso de la digesta húmeda.*** incluye la digesta seca del ciego.

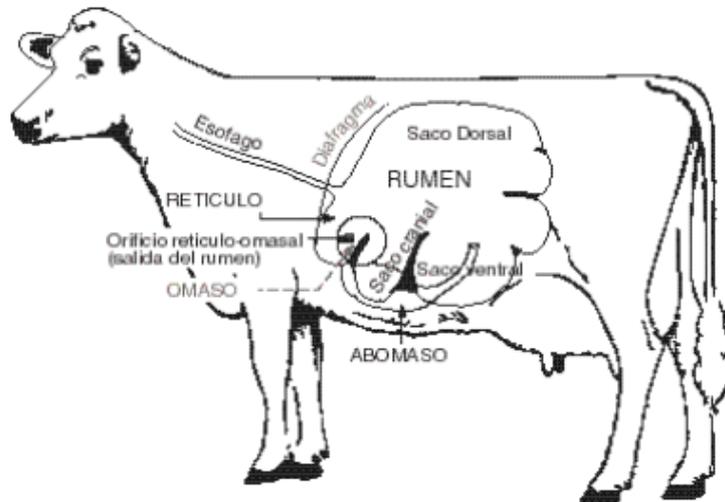


Figura 1. Órganos digestivos y dirección de los alimentos ingeridos en una vaca.

Labios, lengua y dientes

La lengua es el órgano principal de aprehensión de la boca, la que tira el pasto y otros forrajes hacia la boca. Los bovinos no tienen dientes caninos ni incisivos superiores, los incisivos superiores son remplazados por un cojinete dental que provee una superficie contra la cual los incisivos inferiores pueden presionar para cortar el forraje. Además, el hueso maxilar es más amplio que la mandíbula, lo que posibilita que el animal utilice los molares de un solo lado a la vez, mediante movimientos laterales de la mandíbula.

Glándulas salivales y el esófago

Hay múltiples glándulas salivales localizadas en la cabeza (parótida, mandibular, sublingual). Las diferentes glándulas secretan saliva con una composición ligeramente diferente. El esófago es un

tubo muscular, cubierto por una mucosa lisa, de más de 1 m de longitud, expansible que termina en un esfínter a la entrada de los estómagos denominado cardias. El alimento y la saliva se mezclan en la boca y bajan por el esófago al rumen. También, durante la rumia, el contenido ruminal vuelve a través del esófago a la boca para una masticación adicional.

Retículo-rumen

Ocupan la mayor parte de la cavidad abdominal

El rumen está dividido en sacos (cavidades) 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 (TABLA 1) Adicionalmente, los alimentos pasan casi la mitad del tiempo dentro del retículo rumen (40 a 72h). La superficie interior del rumen está cubierta por papilas que incrementan la superficie de absorción de los productos finales de la fermentación ruminal (los ácidos grasos volátiles (AGV) y el amoniaco). El diseño del retículo-rumen permite la retención de partículas fibrosas de alimentos para incrementar el tiempo que son sujetos a la fermentación de los microorganismos. El rumen le permite a los herbívoros utilizar los compuestos que forman las paredes de las células de plantas (celulosa). El rumen presenta ciclos de contracción y relajación comandados por los pilares, un ciclo de contracción que tarda aproximadamente 50 a 60 segundos en completarse.

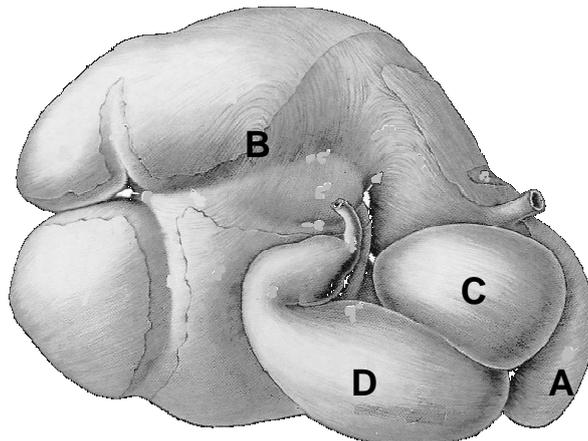


Figura 2. Estómagos de una vaca. A: Retículo, B: Rumen, C: Omaso, D: Abomaso.

El retículo es un saco en el frente del rumen. Está separado del rumen dorsal por la apertura del esófago (cardias) y del rumen ventral por el pliegue retículo-ruminal. La superficie del interior del retículo tiene la apariencia de un "panal". El alimento por las contracciones de la musculatura de las paredes de los estómagos, se desplaza de cavidad en cavidad.

La apertura del esófago y el orificio retículo-omasal forman la entrada y salida del retículo-rumen respectivamente. Estos dos orificios están ubicados uno cerca del otro y están ligados por el canal esofágico. Cuando un ternero joven mama, los pliegues del canal se cierran para formar un tubo, a través del cual la leche pasa directamente del esófago al abomaso sin entrar al rumen. En una vaca adulta el canal esofágico no sigue funcional.

Omaso

El omaso es una estructura compuesta por muchos pliegues musculares. Aunque la masa del omaso vacío es relativamente grande (TABLA 1), solamente contiene 4% del peso de la digesta en el

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS

tracto. En una vaca adulta el omaso es más o menos del mismo tamaño que una pelota de fútbol. Esta estructura juega un papel en la absorción de grandes cantidades de agua y minerales (Na^+ y H_2CO_3) derivados del líquido que entra con la digesta por el rumen. Como resultado, el agua no diluye el ácido secretado por el abomaso y los minerales pueden ser reciclados a la saliva.

Abomaso

El abomaso es el cuarto estómago del rumiante. Este secreta enzimas y HCl de la misma manera 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 distintas. El fondo (fundus) es el sitio principal para la secreción del HCl y las enzimas que operan en un medio ácido. La región pilórica es donde el alimento se acumula antes de ser propulsado hacia el duodeno como un bolo.

Intestino delgado

El intestino delgado es un tubo largo subdividido en duodeno, yeyuno e íleon, posee aproximadamente 46 m de longitud y de 1 a 4.5 cm de diámetro en una vaca adulta. Las paredes son musculares con gran capacidad de distensión, permitiendo un aumento importante de su superficie. En la primera porción del tubo (duodeno) desembocan los conductos del páncreas y del hígado (colédoco), las enzimas secretadas por el páncreas, y por el intestino, digieren proteínas, carbohidratos y grasas. La bilis del hígado ayuda a digerir y preparar las grasas para ser absorbidas. El intestino delgado es el sitio principal para la absorción de los productos finales de digestión.

Intestino grueso

El ciego es la primera sección del intestino grueso, funciona como un sitio para la fermentación microbiana después de la digestión ácida dentro del abomaso y la digestión enzimática del intestino delgado. En el caballo y conejo el ciego contribuye significativamente a la fermentación microbiana, sin embargo, ésta es menor que la del retículo-rumen en la vaca adulta. Aquí se absorbe H_2O y minerales, y se forman las deposiciones.

¿QUE ES LA DIGESTIÓN?

Es convertir los nutrientes organizados en formas altamente complejas a componentes químicos más sencillos que pueden ser absorbidos por los enterocitos, células del epitelio de la pared intestinal. Por ejemplo, la celulosa es una forma compleja de carbohidrato que no puede ser utilizado por las células del cuerpo, sin embargo, la fermentación en el rumen produce ácidos grasos volátiles a partir de la celulosa y estos son absorción a la sangre y utilizados como precursores para la grasa de la leche o la lactosa.

Normalmente, los alimentos no se digieren completamente y la parte que no está digerida se elimina por las deposiciones, sin que haya entrado al cuerpo. Por otro lado, una parte de los alimentos son compuestos sencillos, altamente solubles (azúcar que se usa en el té o el café), que en el caso de la vaca son utilizados por los microbios del rumen, en lugar de ser absorbidos directamente.

SITIOS DE DIGESTIÓN

La figura 3 representa el perfil de los procesos que ocurren en el tracto digestivo. El alimento

recogido por la lengua hacia la boca, pasa al esófago y entra al rumen donde la población de microorganismos comienza a fermentar los alimentos. Las partículas grandes de fibra se regurgitan hacia la boca para más destrucción física (rumia) y luego pasan de nuevo al retículo-rumen. Algunos productos de fermentación (por ejemplo los AGV) pasan a la sangre a través de las paredes del retículo-rumen. El tiempo de retención de la digesta en el retículo-rumen varía. La porción más líquida de la digesta se puede quedar en el rumen de 10 a 12 h, mientras que las partículas de fibra pueden ser retenidas en el rumen de 20 a 48 h. La digesta que sale del retículo-rumen contiene pequeñas partículas de alimentos que han escapado a la fermentación y forman una fuente rica de proteínas, derivada de los microorganismos que se han multiplicado dentro del rumen.

La digesta pasa a través del orificio retículo-omasal, de los pliegues del omaso, y después entran al abomaso. La fuerte acidez del abomaso detiene toda la actividad bacteriana y también inicia una destrucción química de las partículas (digestión ácida). Después de sólo unas pocas horas en el abomaso, la digesta pasa a través del orificio pilórico hacia el duodeno donde se mezcla con las enzimas pancreática y biliar, iniciándose la digestión enzimática (digestión química).

Mientras que la digesta se mueve a través del intestino delgado, los productos de la digestión enzimática son absorbidos por los enterocitos y movilizados hacia la sangre. Al final del intestino delgado, los residuos no digeridos pasan al ciego, que es un órgano colonizado por otra población de bacterias, produciéndose una fermentación parecida a la del rumen, pero menos activa. Finalmente, los residuos no digeridos pasan del ciego al intestino grueso donde se absorbe el agua. La materia no digerida forma las deposiciones que eventualmente se eliminan por el recto.

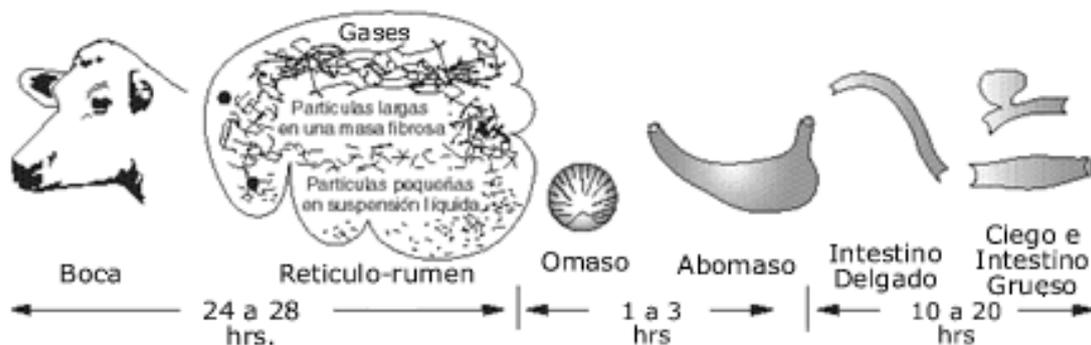


Figura 3. Principales pasos, órganos y tiempo requerido para la digestión de alimentos en la vaca lechera

Masticación

Las principales funciones de masticación durante la alimentación son:

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.

El forraje fresco, los granos y los alimentos peletizados se consumen rápidamente, pero el heno seco y largo requiere más masticación antes de que se pueda tragar.

Salivación

Las cinco funciones principales de la salivación son:

1. Agregar agua al contenido del rumen para diluir los ácidos y ayudar el flujo de partículas fuera y dentro del retículo-rumen.
2. Ayudar a los amortiguadores del rumen a mantener un ambiente sano.
3. Lubricar los alimentos para formar un bolo.
4. Proveer algunos nutrientes a los microbios ruminales (N disponible en la forma de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, minerales como H_2PO_4^- , Mg, Cl, etc.).
5. Tener propiedades antiespumosas. La mucina es un componente de la saliva que ayuda a prevenir la hinchazón.

La saliva de rumiantes contiene grandes cantidades de Na^+ y otros minerales. La saliva también contiene una alta concentración de HCO_3^- y H_2PO_4^- que funciona como un amortiguador que resiste la reducción de pH (aumento de acidez) que, de otra manera, acompaña la producción de ácidos en la fermentación dentro el rumen.

Las vacas tienen muchas glándulas que secretan saliva. La producción de saliva es aproximadamente 120 mL/min durante la alimentación y 150 mL/min durante la rumia. Cuando la vaca deja de masticar la producción de saliva continúa a una tasa de 60 mL/min. Esto implica que en una dieta de alto contenido de forraje, una vaca puede masticar más de 10 h/día y la producción de saliva puede exceder los 140L. La cantidad de saliva secretada depende 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 (pH bajo 4.5) toda actividad microbiana se interrumpe, lo cual puede resultar en la muerte de la vaca.

Función de la rumia

Durante la rumia, un bolo del contenido del rumen regresa a la boca. El líquido y las partículas pequeñas que contiene el bolo se exprimen en la boca e inmediatamente se retragan. Las partículas más grandes del bolo se remastican por 50 a 60 seg antes de que se traguen de nuevo. La rumiación es una parte vital y esencial de la digestión normal del rumiante. Las principales funciones de rumia se pueden resumir así:

1. Incrementar la producción de saliva.
2. Reducir el tamaño de las partículas y aumentar la densidad de partículas, dos características importantes que determinan la cantidad de tiempo que las partículas quedan en el rumen.
3. Contribuir a la separación de partículas que pueden salir del rumen y las que necesitan más tiempo para su fermentación.
4. Mejorar la digestión de las fibras exponiendo nuevas superficies para el ataque de los microbios.

La rumia es un reflejo que se logra cuando el rumen contiene alimentos de fibras largas. Las vacas pueden rumiar hasta 8 h/día. Sin embargo, los alimentos finamente molidos pasan mucho menos tiempo en rumia, con efectos negativos en la digestión de fibra y la producción de grasa en la leche.

Una indicación de buena salud es cuando las vacas mastican mucho. Producen mucha saliva que provee un ambiente sano para el crecimiento de los microbios en el rumen. Una vaca sana puede hacer entre 40.000 y 45.000 movimientos de su mandíbula cada día. Una forma de comprobar si las raciones del hato contienen suficiente alimento fibroso es contar el número de vacas que están masticando o rumiando en cualquier momento. Si al menos una tercera parte de las vacas están rumiando, hay fibra suficiente en la dieta.

Función de la fermentación ruminal

Cada mL del contenido del rumen lleva unas 16.000.000.000 a 40.000.000.000 bacteria y 200.000 protozoos, además, hay hongos; todos estos crecen y se reproducen dentro del rumen. Hay muchas especies diferentes de bacterias y protozoos. El tipo de alimento que la vaca come determina cuáles especies de bacterias predominan; éstas a su vez, determinan la cantidad y la proporción de AGV que servirán de recurso de energía.

El ambiente del rumen posee un pH que varía de 5,5 a 7,0; la temperatura es de 39 a 40°C, la que es óptima para muchas enzimas; casi no hay O₂, el cual es tóxico para muchas especies de bacterias; hay suficiente alimento proveído en una forma más o menos continúa; y los productos finales de fermentación (AGV y NH₃) se absorben por el epitelio del rumen. Así, una densa población de microorganismos vive en el retículo-rumen.

Las principales ventajas de la fermentación ruminal en la vaca son:

1. Obtener energía de los carbohidratos complejos que de otra manera permanecerían encerrados en la estructura fibrosa de las plantas.
2. Convertir fuentes pobres de N, incluyendo nitrógeno no proteico (NNP) a proteína bacteriana la cual está en equilibrio respecto a las necesidades para la síntesis de proteína de la leche.
3. Sintetizar vitaminas del complejo B y vitamina K. Como resultado, las vacas normalmente no requieren suplementación de las vitaminas B ni de la vitamina K en su dieta.
4. Desintoxicación de algunos tipos de toxinas.

Sin embargo, hay desventajas de la fermentación ruminal:

1. La fermentación rápida de carbohidratos en el rumen se asocia con la pérdida de alguna energía en forma de gases (CH₄ y CO₂).
2. Las proteínas de alto valor nutritivo se degradan parcialmente con una pérdida potencial de NH₃, si la bacteria no puede incorporar todo el NH₃ producido para formar proteína bacteriana.
3. La vaca come una gran cantidad de fibra proveniente de plantas, que se digiere lentamente y se retiene en el rumen por un largo período de fermentación. Como resultado, cuando la dieta es alta en fibra, una vaca puede comer hasta su capacidad y todavía le faltará la energía que ella necesita.

La cantidad de bacterias producidas diariamente en el rumen varía directamente con la cantidad de energía disponible, la cual a su vez, es directamente proporcional a la cantidad de energía ingerida. Aunque las vacas no comen bacterias, aproximadamente 2.5 kg de proteína bacterial (400 mg de N) que crece en el retículo-rumen puede alcanzar el intestino delgado cada día. Estas proteínas bacterianas se digieren en el intestino delgado y son la fuente principal de aminoácidos para la vaca.

DIGESTION EN EL ABOMASO Y EL INTESTINO DELGADO

Empezando en el abomaso, la digestión es similar a la de otros animales. En el abomaso, toda la actividad bacteriana cesa completamente debido al ambiente ácido. El abomaso secreta el HCl y las enzimas, pepsina y renina. Es sólo cuando la acidez de la digesta en el abomaso alcanza un nivel muy fuerte (pH=2) que el píloro se abre y deja la digesta, la cual se llama ahora quimo, pasar al duodeno. La secreción del páncreas, del hígado y de las glándulas de las paredes intestinales entran al duodeno y se mezclan con el quimo. Estas secreciones 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, fructosa, etc. Las grasas se hidrolizan a su estructura básica de glicerol (derivado de azúcar) y tres ácidos grasos (triglicéridos).

ABSORCION EN LOS INTESTINOS

La absorción de los productos de digestión en los intestinos ocurre principalmente en la segunda parte del intestino delgado (yeyuno). Los aminoácidos y los péptidos pequeños resultantes de la digestión de proteína y azúcares sencillos, tales como glucosa de la digestión de carbohidratos, pueden pasar 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. Los intestinos gruesos no secretan enzimas digestivas, pero la absorción, especialmente de agua, ocurre aquí.

DEPOSICIONES Y ORINA

Las deposiciones que salen del recto por el ano se componen de lo siguiente:

1. Residuos de alimentos no digeridos.
2. Enzimas digestivas.
3. Células eliminadas del tracto intestinal.
4. Residuos de microorganismos no digeridos (bacteria).

La cantidad de deposiciones producida cada día puede variar considerablemente según la tasa de ingestión y la composición de la dieta. Las vacas alimentadas con una dieta alta en forraje producen más deposiciones que las vacas alimentadas con concentrados que tienen un alto contenido de granos.

Por promedio, una vaca de 600 kg produce aproximadamente 10.000 kg de deposiciones y orina al año. La TABLA 2 indica la composición del estiércol (deposiciones más orina) producido por vacas lecheras.

La materia seca del estiércol contiene aproximadamente 85% materia orgánica y 15% minerales. Además del N, P y K, otros minerales del estiércol de las vacas lecheras incluyen Mg, Ca, Na, S, Fe, Zn, Mn y Cu. La orina contiene 50% del total de K en el estiércol. Sin embargo, las deposiciones contienen 90% del P.

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS

Tabla 2. Composición de las deposiciones de las vacas lecheras.

Componente	Estimación	
	1*	2**
Agua, %	76.5	79.0
Materia seca, %	23.5	21.0
Total	100.0	100.0
% de materia seca		
Nitrógeno (N)	2.2	2.3
Fósforo (P ₂ O ₅)***	1.3	1.1
Potasio (K ₂ O)***	0.8	2.9

* Dairy Science Handbook. 1990. Volumen 20, p 41.** Ensminger *et al.*, 1990. Feeds and Nutrition p 478.

*** P₂O₅ se puede convertir en fósforo (P) dividiendo por 2,29, y K₂O se puede convertir en potasio (K) dividiendo por 1,2.

RESUMEN

La estructura y función del tracto digestivo de la vaca lo hace especialmente eficiente en la utilización de alimentos fibrosos, cuyas consecuencias son:

- Los forrajes deben formar parte de la dieta para estimular la rumia esencial para mantener una vaca sana.
- Cuando usted alimenta la vaca, primero está alimentando sus microbios ruminales.
- Las vacas utilizan una gran variedad de dietas, pero los cambios deben ser graduales y realizados durante un período de 4 a 5 días.
- Las deposiciones de las vacas son ricas en materia orgánica, contienen N, P y K, son un fertilizante excelente.

Este documento ha sido preparado por el Dr. Sergio Donoso E. profesor responsable de las asignaturas de Anatomía, a quien se le agradece su colaboración