

EL BOVINO LECHERO Y SU RUMEN

Jherson Saúl Jiménez Bellot* *Médico Veterinario – Ing. Agrónomo M. Sc. Producción Animal. Investigador independiente.

RESUMEN.

El presente artículo tiene la finalidad de poder fortalecer conceptos sobre la importancia del rumen en la producción de rumiantes específicamente en bovinos con potencial productivo lechero. Importancia mayor que se le debe dar a este órgano y a su contenido, mismo que alberga una cantidad considerable de microorganismos con diferentes funciones en beneficio del animal. Conocer que procesos y factores intervienen para el buen desarrollo y funcionamiento del rumen y de estos cuáles son sus productos finales.

Introducción

El objetivo de la presente revisión de literatura es ofrecer elementos conceptuales que permitan comprender la importancia del rumen en la alimentación del bovino, como este órgano puede desarrollar procesos tan complejos que pueden ser modulados con un manejo adecuado por parte del productor, los cuales afectan positivamente en la producción.

La producción lechera bovina a lo largo de la historia alcanzó un rol importante, ya que está llega a proporcionar proteína para consumo humano, asegurando la alimentación de las personas, pero no solo eso, sino también como un modelo productivo de generación de recursos económicos. De alguna manera, ambos beneficios están supeditados necesariamente a varios factores siendo uno de ellos la nutrición y alimentación, para lo cual es importante conocer el trabajo que desarrolla el rumen en la producción láctea.

Los bovinos son mamíferos que pertenecen al grupo de los rumiantes característica que hace que su alimentación esté

generalmente basada en vegetales, carecen de dientes incisivos en la mandíbula superior y tienen un estómago compuesto (presencia de cuatro cavidades).

Hace millones de años, el proceso de rumia ayudó a estos animales a salir a las grandes y despejadas praderas donde estaban expuestos a los depredadores y comer de prisa todo lo que pudieran en gran cantidad (actualmente se desarrolla en herbívoros de vida silvestre), para luego ocultarse entre árboles y arbustos, donde pudieran comenzar su proceso de digestión, para tal fin su estómago evolucionó a uno compuesto. Estómago, que tiene la capacidad de degradar los alimentos con la ayuda de microorganismos que se encuentran en los compartimentos, (Enciclopedia de ejemplos, 2019).

Consideraciones básicas de anatomía y fisiología digestiva.

El sistema digestivo de los rumiantes en este caso del bovino, inicia con la boca, la misma que contiene la lengua y los dientes. La lengua de los bovinos es particularmente larga en su porción libre y cubierta por diferentes tipos de papilas que le otorgan una característica áspera convirtiéndose en su principal órgano de aprehensión del animal principalmente para ingerir los alimentos. Es decir que la lengua sale de la boca, rodea al pasto y lo ingresa a su organismo.

Los dientes en los bovinos están dispuestos sobre los bordes de las mandíbulas. La dentadura en estos animales no es continua, en el maxilar superior no disponen parte de la dentadura y, en el inferior, se interrumpe dejando un espacio sin dientes, llamado barra o diastema. Los bovinos son heterodontos (poseen dientes diferentes, tanto en forma como en función, por lo tanto tienen nombres diferentes). En el bovino se diferencian incisivos y molares. Los incisivos (de incidir = cortar) son planos y con un borde cortante y están situados en la entrada de la boca. Los molares (de muela = piedra de molino), son voluminosos y con una superficie libre dispuesta para triturar, (Asociación Criadores Holando Argentino, 1979).

La dentadura de los bovinos carece de caninos e incisivos en el maxilar superior, éstos están reemplazados por una almohadilla fibrocartilaginosa (rodete dentario) recubierta por la mucosa bucal. Los incisivos inferiores están implantados en forma no rígida de

modo de no lastimar la almohadilla. Los incisivos y el rodete sujetan el pasto y el animal corta el bocado mediante un movimiento de cabeza. Este bocado es ligeramente masticado, mientras el animal sigue comiendo. Cuando ha juntado varios bocados formando un bolo de aproximadamente 100 gr incluyendo la saliva, éste es deglutido. La fórmula dental del bovino adulto es la siguiente: 0/4 0/0 3/3 3/3 (2) = 32 dientes

Ilustración 1. Esquema del sistema digestivo en bovino.



Bo=Boca. E=Esófago. Ca=Cardias. Re=Retículo. Ru=Rumen. Ab=Abomaso. O=Omaso.
Id=Intestino delgado. Ig=Intestino grueso. R=Recto.

Saliva.

La saliva es producida por las glándulas salivales ubicadas alrededor de la cavidad bucal. Los rumiantes presentan dos tipos de glándulas salivales: a)

glándulas alcalígenas, como las parótidas, molar inferior y bucales, y b) glándulas mucígenas, como las submandibulares, sublinguales, labiales y faríngeas, cuya secreción es predominantemente mucoproteica. La combinación de estas secreciones da el volumen total de saliva. La secreción mucilaginosa tiene por objeto humedecer el bolo y facilitar la masticación y la deglución mientras que la saliva alcalina, formada especialmente por carbonato, bicarbonato de sodio (NaHCO_3) y fosfato (H_2PO_4^-) mantiene el pH del rumen en un rango estrecho,

Tabla 1. Composición iónica en mEq/l y su comparación en porcentaje (%) de las glándulas que secretan saliva alcalina en bovinos.

Glándula	HCO_3^-		HPO_4^{2-}		Cl^-		Na^+		K^+		Ca^{2+}		Total	
	mEq/l	%	mEq/l	%	mEq/l	%	mEq/l	%	mEq/l	%	mEq/l	%	mEq/l	%
Parótida	110,8	38,9	22,4	7,9	10,6	3,7	123	43,2	14,7	5,2	3,4	1,2	284,9	100
Submaxilar	15,7	19,2	0,5	0,6	30,9	37,8	13,6	16,6	13,9	17	7,1	8,7	81,7	100
Sublingual	104,3	34,4	17	5,6	17,6	5,8	14,2	46,8	19,4	6,4	3,2	1,1	175,7	100

Fuente: Elaboración propia con datos de (Phillipson, 1980).

cercano a la neutralidad. Además la saliva contiene urea lo que permite mantener un nivel de nitrógeno más o menos constante en el rumen.

La secreción salival de los rumiantes es abundante y variable, se calcula una producción en los bovinos entre 90 y 190 l/día. Se logra diferenciar una secreción basal de ritmo constante, independiente del control nervioso y una secreción de ritmo variable dependiente de estímulos nerviosos provenientes de la zona terminal del esófago o de parte del rumen para las glándulas alcalígenas, mientras que las mucígenas responden a estímulos producidos por alimentos en la boca. Ligeras presiones en el interior del rumen estimulan la secreción salival mientras que mayores presiones, tales como las que se desarrollan durante el empaste la inhiben, acelerando el proceso, (Asociación Criadores Holando Argentino, 1979).

Esófago.

El bolo deglutido pasa junto con la saliva a la faringe que es un pasaje común a las vías respiratorias y digestivas y posteriormente al estómago por el esófago. Este es un órgano tubular que une la faringe con el estómago. Su longitud aproximada es de 0,90 a 1,05 metros y su diámetro potencial en la misma especie de 5 a 7 cm. Está formado por 3 capas, de las cuales la intermedia muscular, produce ondas que facilitan el traslado del bolo.

Rumen y retículo.

El estómago es la continuación del esófago con la diferencia que este es dilatado, comienza en el extremo del esófago (cardias) y termina en el duodeno (píloro). El estómago de los bovinos (rumiantes) es compuesto (está formado por dos tipos de mucosas, glandular y no glandular) y está constituido por 4 cavidades. Las tres primeras son: rumen (panza o herbario), retículo (bonete o redecilla) y omaso (librillo o salterio) y comprenden el denominado proventrículo. Están formadas por mucosa no glandular, encargadas por tanto de la digestión de los hidratos de carbono presentes en elevado porcentaje en la dieta de los rumiantes. El cuarto compartimento es el abomaso o ventrículo (cuajar o estómago verdadero), con mucosa glandular. (Rojo & González, 2013). El rumen es el de mayor volumen con una capacidad que

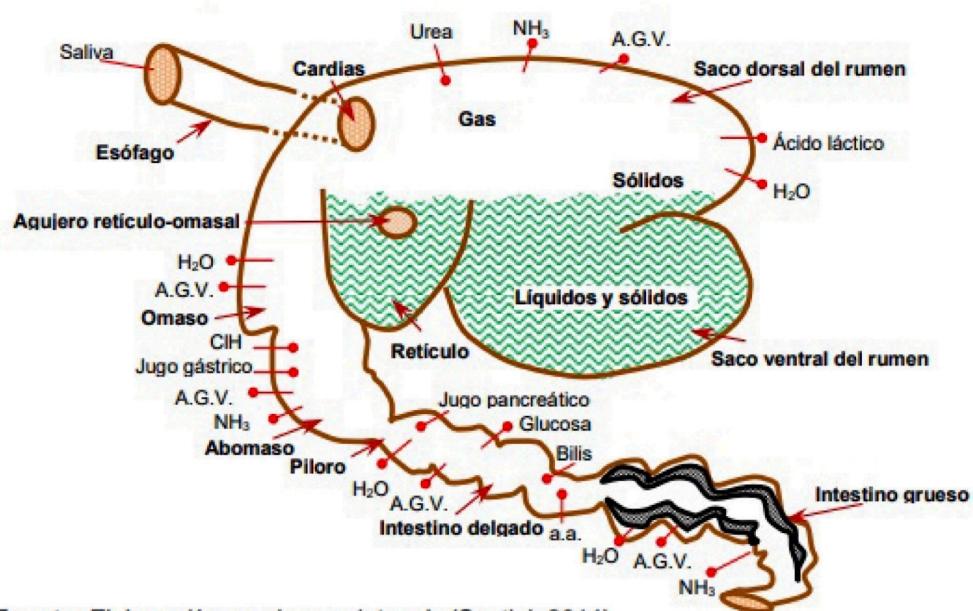
puede llegar a más de 200 litros en bovinos, (Jiménez, Pautas para la crianza de ganado bovino lechero-Beni, 2019).

El rumen histológicamente está formado por una membrana mucosa recubierta por un epitelio plano estratificado queratinizado y cornificado que representa papillas y rodeado por una capa muscular que es la que produce las contracciones. El rumen está dividido en distintas cavidades o sacos debido a la presencia de surcos. Estos surcos no son muy marcados externamente ya que los tapa el peritoneo, pero internamente se proyectan en forma de pilares ruminales. En los surcos discurren los vasos sanguíneos, linfáticos y nervios del rumen, rodeados de grasa. Además estos surcos dividen al rumen en cinco sacos (dorsal, anterior, ventral, ciego dorsal y ciego ventral), (Rojo & González, 2013).

La redecilla o retículo está separada del rumen por el pliegue rúmico-reticular. Presenta esencialmente la misma estructura pero la mucosa de este compartimento se caracteriza por formar pliegues de 1 cm. de altura aproximadamente que dan origen a celdas poligonales en forma de panal. En la porción superior derecha se abre el cardias, que es donde se une el esófago y por donde entran los alimentos. En esa misma región se halla la gotera esofágica. El bolo llega al cardias, este se abre y el alimento entra al retículo.

Desde acá el bolo se moverá por contracciones de las capas musculares que rodean el rumen, (Asociación Criadores Holandés Argentino, 1979).

Ilustración 2. Esquema anatofisiológico del sistema digestivo de los bovinos.



Fuente: Elaboración propia con datos de (Santini, 2014).

Librillo u omaso.

Se caracteriza por sus pliegues, las láminas del librillo (\pm 100) cubiertas de papilas córneas. En este compartimento tiene una alta capacidad de absorción de líquidos, permitiendo el reciclado de agua y minerales, tales como sodio y fósforo. Estos son reciclados al rumen a través de la saliva. Como el proceso de digestión entre el rumen y en el abomaso (estómago verdadero) difiere marcadamente, el omaso actúa como un órgano de transición entre estos dos, (Santini, 2014). Gracias a la absorción de líquidos el material alimenticio llega más concentrado al cuajar.

Cuajar o abomaso.

Es similar al estómago simple de los no rumiantes pero con más forma de tubo. Consta de fondo o fundus, cuerpo y parte pilórica. Su curvatura mayor mira hacia ventral y a la izquierda, y la menor hacia dorsal y a la derecha, (Rojo & González, 2013).

Secreta ácido clorhídrico y pepsina que ataca las proteínas. Se digieren aquí las bacterias y los protozoarios formados en el rumen. El pH oscila entre 2 y 3, acidez óptima para la acción de la pepsina. El estómago del bovino recibe una rica inervación vegetativa, principalmente parasimpática a través del nervio vago. Las ramas, derecha e izquierda del nervio vago torácico se subdividen cerca del diafragma en ramas dorsal y ventral. Ambos pares de ramas dorsales se unen en un tronco dorsal único y lo propio hacen las ventrales formando el tronco ventral. La rama dorsal va a inervar todo el rumen ("nervio del rumen") y la curvatura menor del abomaso. La rama ventral, que ya está dividida al atravesar el diafragma, forma un plexo en la zona del cardias y va a inervar la red, el omaso y curvatura mayor del abomaso. La inervación simpática, de menor importancia funcional, proviene del nervio esplácnico y ramas celíacas. La irrigación del estómago proviene de la arteria celíaca, mientras que la sangre venosa es recogida por la vena esplénica y la gastroduodenal, que desembocan en la vena porta, (Rellin & Mattioli, 2003).

Intestino.

No presenta mayores diferencias con el de los herbívoros no rumiantes salvo el intestino grueso que tiene menor desarrollo ya que la mayor parte de la fermentación bacteriana se produjo en el rumen. En el intestino se terminan de digerir las proteínas, se

digieren las grasas y se absorben todos los productos finales de la digestión. Esto se ve facilitado por la gran longitud del intestino.

Fundamentos sobre la digestión en bovinos.

Los rumiantes se caracterizan por su capacidad para alimentarse de pasto o forraje. Esta característica se basa en la posibilidad de poder degradar los hidratos de carbono estructurales del forraje, como celulosa, hemicelulosa y pectina, muy poco digestibles para las especies de estómago simple o no rumiantes. La degradación del alimento se realiza mayoritariamente por digestión fermentativa y no por acción de enzimas digestivas, y los procesos fermentativos los realizan diferentes tipos de microorganismos a los que el rumiante aloja en sus divertículos estomacales, (Rellin & Mattioli, 2003).

Los rumiantes son herbívoros cuyo principal alimento son las plantas que contienen carbohidratos fibrosos; sin embargo, estos animales no poseen enzimas que puedan digerirlos y son los microorganismos presentes en el rumen, tales como bacterias, protozoarios y hongos, los que al fermentar el alimento permiten al rumiante: digerir polisacáridos complejos como la celulosa, aprovechar además de proteínas, fuentes de nitrógeno no proteico (NNP), para su conversión en proteína microbiana y sintetizar vitaminas hidrosolubles, (Nava & Díaz, 2001).

La interacción simbiótica entre la microflora ruminal y el rumiante en sí, constituye uno de los eventos más importantes para el desarrollo de la vida, dado que gracias a esto, sustratos que no pueden ser utilizados por el hombre, pueden ser aprovechados por el rumiante. No obstante, la digestión de estos compuestos es realizada gracias a la acción enzimática efectuada por los microorganismos ruminantes. De esta forma, los rumiantes pueden convertir celulosa y hemicelulosa, además de otros compuestos, en carne y leche indispensables para el desarrollo del hombre, (Carrasco, 2016).

Rumia.

La rumia es la función característica del rumiante y consiste en la regurgitación de digesta del retículo a la boca. El estímulo para iniciar la rumia es el contacto de partículas gruesas en la pared ruminal; se produce una contracción del retículo que precede las

contracciones del ciclo de mezcla y eleva el material por encima del nivel del cardias; este se abre y el alimento es absorbido por una presión negativa, similar a la del eructo. Se regurgita un bolo de aproximadamente 130 grs con cierta cantidad de líquido. La remasticación dura de 25 a 60 segundos y consiste en 30 a 80 movimientos de mandíbula. Al cabo de aproximadamente un minuto el bolo es reingerido y vuelve al rumen tal como un bolo recién consumido, pero ya más despedazado y más fácilmente atacable por las bacterias, (García & Gingins, 1969).

La rumia comienza con una contracción "extra" del retículo que precede a la contracción bifásica. A continuación se relaja el cardias y el animal hace una inspiración a glotis cerrada que reduce la presión intraesofágica (-20 a - 40 mm Hg), con la consiguiente distensión de su pared y el ingreso de alimento desde la zona de eyeción. Una vez dentro del esófago, el bolo produce contracciones antiperistálticas que lo llevan hacia la boca donde es comprimido entre la lengua y el paladar para escurrir el líquido que es deglutido, mientras que el material sólido (forraje grosero) permanece en la boca para su remasticación e insalivación. El tiempo de remasticación depende del tipo de dieta, siendo como promedio de 40 a 60 segundos por bolo. Finalmente el bolo remasticado es deglutido y sus componentes se integran al contenido ruminal, (Rellin & Mattioli, 2003).

Tabla 2. Capacidad del estómago e intestinos de los bovinos

Compartimento	Capacidad (% del total)	Aspectos sobre el rumen.
Rumen - retículo	60.2	Los rumiantes son herbívoros cuyo principal alimento son las plantas que contienen carbohidratos fibrosos; sin embargo, estos animales no poseen enzimas
Omaso	5.3	
Abomaso	5.3	
Intestino delgado	18.5	
Ciego	2.8	
Colon y recto	7.9	
Total	100	
Capacidad total en litros	356	

que puedan digerirlos y son los microorganismos presentes en el

rumen, tales como bacterias, protozoarios y hongos, los que al fermentar el alimento permiten al rumiante: digerir polisacáridos complejos como la celulosa, aprovechar además de proteínas, fuentes de nitrógeno no proteico (NNP), para su conversión en proteína microbiana y sintetizar vitaminas hidrosolubles. El rumiante aprovecha los productos finales de la fermentación, particularmente los ácidos grasos volátiles (AGV) y los nutrientes contenidos en los cuerpos celulares de los microorganismos, que son aprovechados al digerirse en el abomaso e intestino delgado, (Nava & Díaz, 2001).

Los rumiantes son mamíferos que se han especializado en consumir material vegetal fibroso, que las enzimas digestivas son incapaces de degradar, pero mediante la fermentación que proporcionan los microorganismos que viven en simbiosis en el rumen, son aprovechados. La gran capacidad gástrica de los rumiantes es necesaria para mantener los alimentos el tiempo suficiente para ser digeridos, (Araujo & Vergara, 2007).

El rumen se asemeja a un sistema de cultivo continuo, en el cual hay una continua incorporación de agua y alimentos para los microorganismos y una permanente remoción de deshechos y productos finales, cuya acumulación podría frenar el proceso fermentativo. El rumen del hospedador asegura a los microorganismos que alberga (bacterias, protozoos y hongos) una serie de condiciones estables de temperatura (39-40° C), osmolaridad, potencial redox y pH, (Pechin, 2005).

Temperatura ruminal.

La temperatura ruminal se encuentra entre 39 – 40 °C para las condiciones normales de fermentación ruminal, (Church, 1974) y (García D. , 2016). Otros autores, señalan rangos más amplios entre los 38 y 42 °C, (Yokoyama & Johnson, 1988).

pH Ruminal

La naturaleza de la dieta suministrada es factor determinante en las fluctuaciones del pH ruminal, aunque los rumiantes poseen un sistema altamente desarrollado para mantener el pH dentro de los límites fisiológicos – 5,5 a 7,0, (Krause & Oetzel, 2006).

El pH de 5.5 a 7, lo que es muy cercano al óptimo, es amortiguado por el paso de los AGV y amonio a circulación, por la entrada de

grandes cantidades de saliva que contiene bicarbonato y fosfato y por la tendencia hacia el equilibrio iónico entre el contenido ruminal y el torrente sanguíneo, (Grudsky & Arias, 1983).

El pH del rumen es uno de los factores del ambiente ruminal más variable, siendo afectado por la naturaleza del alimento, forma física del mismo, cantidad ingerida, etc., a través de la producción de saliva. En condiciones de pastoreo los cambios de pH ruminal son muy marcados, asociados al momento de la ingestión del forraje, (Santini, 2014).

En los rumiantes, el pH del rumen desciende después de la alimentación por un período de pocas horas, para luego incrementarse por la remoción de los ácidos grasos volátiles (AGV), ya sea por absorción o por pasaje al tracto gastrointestinal posterior, y por los efectos de otros factores como la salivación y rumia. Por ejemplo, en dietas donde más del 45% de la materia seca (MS) de la ración lo constituyen alimentos concentrados (granos), el pH oscila entre 6,6 (antes de la alimentación) y 5,3-5,5 por los procesos de fermentación intensivos posterior a la alimentación. El tiempo que el pH del rumen permanece por debajo de 6 es el principal inconveniente para lograr una óptima digestión ruminal de la MS, (Stefaňuk, 2014).

El pH es uno de los componentes más variables del ambiente ruminal, es alterado por la naturaleza del alimento, forma física del mismo, frecuencia de la ingesta, etc. En condiciones de pastoreo, los cambios de pH son muy marcados, y están asociados a la ingesta. Varias experiencias han demostrado que la efectividad del crecimiento de las bacterias predominantes en el rumen varía considerablemente con el pH. Las bacterias celulolíticas y las metanógenas son afectadas intensamente una vez que el pH del rumen desciende por debajo de 6,0. También son afectados los protozoos del rumen por el descenso de pH de-terminado por un consumo excesivo de concentrados en la dieta. Si se mantiene el pH en 5,5 puede aparecer en el rumen un elevado número de protozoos, (Blanco, 1999).

Potencial redox.

El ambiente intraruminal es anaeróbico por excelencia, lo que indica que se encuentra constantemente en condiciones de reducción. Sin embargo, es posible encontrar muy poco oxígeno en ocasiones, producto posiblemente, de su introducción a través del alimento ingerido o el agua, Church, (1974), citado por (Araujo & Vergara,

2007). El mencionado ambiente ofrece las condiciones óptimas para el desarrollo de microrganismos anaerobios.

Presión osmótica.

Los procesos fermentativos normales varían de acuerdo a circunstancias ambientales y dietéticas, éstas por lo general tienen lugar con una osmolaridad entre 260 y 340 mOsM, normalmente alrededor de 280, pudiendo aumentar hasta 350 o 400 mOsM después de consumir concentrados. El flujo de agua a través de la pared ruminal se realiza en pequeñas cantidades con una osmolaridad normal, mientras que con incrementos de esta presión osmótica se espera que entre agua al rumen, (Owens & Goetsch., 1988).

Bacterias ruminantes.

El rumen se considera un ecosistema anaerobio estricto, donde la mayor parte de los componentes del alimento son degradados y fermentados por una microflora y una microfauna extremadamente abundantes y diversas. La población microbiana es la más numerosa, con una concentración de $1 \times 10^{10} - 10^{11}$ /g de contenido ruminal, y representa alrededor del 50 % de la biomasa microbiana total. Han sido descriptas unas 60 especies, pero hasta el momento se han aislado más de 200. Sin embargo, sólo entre 30 y 40 especies pueden considerarse como autóctonas del rumen, mientras que las demás aparecen de manera transitoria, a partir de la contaminación de los alimentos. La microfauna, compuesta por protozoos (ciliados, en su gran mayoría), con una concentración de $1 \times 10^5 - 10^6$ /ml de contenido ruminal, comprende el 40 % de la biomasa microbiana. Los hongos anaerobios celulolíticos fueron la última población en ser descubierta y estudiada, son particularmente abundantes en regímenes ricos en forrajes groseros. Se calcula que componen el 8 % de la biomasa microbiana, (Pechin, 2005).

Las bacterias del rumen presentan un amplio margen de sensibilidad al pH, potencial redox y osmolaridad. Estas diferencias pueden influir en como las bacterias del rumen compiten entre sí para influir sobre la disponibilidad y concentración de sustratos, (Blanco, 1999).

La población bacteriana del rumen es de aproximadamente 10 000 millones de bacterias por gramo de contenido ruminal. La mayoría

de las bacterias ruminales son cocos o bastones cortos de 0.4–1.0 micras de diámetro y de 1.0–3.0 micras de largo, además de espiroquetas, rosetas y tetracocos, (Carrasco, 2016).

Se calcula que la población microbiana ruminal comprende cientos de especies bacterianas. Un gran número de estas son anaerobias estrictas o facultativas y al menos 30 son las predominantes con cantidades de aproximadamente 10¹¹ células bacterianas/ml de fluido ruminal, (Miron, Ben-Ghedalia, & Morrison†, 2001).

Existe una población microbiana adherida al epitelio ruminal (McCowan y col., 1978; Dehority y Grubb, 1981), otra que se encuentra libre en el fluido y por último una porción adherida y en íntimo contacto con la partículas alimenticias. Estas tres fracciones son diferentes en composición (Olubobokun y col., 1990), autores citados por, (Fraga, Perelmutter, Valencia, & Cajarville, 2013).

En el estrato líquido (fluido o líquido ruminal) los microorganismos se encuentran libres y alimentándose de proteínas y carbohidratos solubles. Estos, constituyen entre el 20 y 30% de la biomasa bacteriana, (Miron, Ben-Ghedalia, & Morrison†, 2001). Por otro lado, el 70% de la microbiota ruminal está relacionada a la fase sólida del contenido ruminal, (Forsberg & Lam, 1977) y se estima que es responsable de entre el 88 y 91% de la tarea fibrolítica, del 70% de la actividad amilasa y del 75% de la función proteolítica del rumen, constituyendo ésta la fracción metabólicamente más importante del sistema ruminal, (Fraga, Perelmutter, Valencia, & Cajarville, 2013).

Las bacterias del rumen son organismos muy complejos y cualquier sistema de clasificación puede ser incompleto o inexacto, dado que puede haber contradicciones por la duplicidad de funciones y actividad enzimática, muy común entre este tipo de organismos. Existen muchas formas de clasificar a las bacterias ruminales y puede ser en base a la morfología, a la presencia de apéndices, a la composición química celular, a los sustratos atacados y a los productos finales de su metabolismo, (Carrasco, 2016).

Clasificación de las bacterias ruminales.

Las bacterias del rumen como ya se describió líneas arriba son microorganismos muy complejos y pueden catalogarse de acuerdo a diferentes aspectos, pudiendo ser estos: en base a la morfología, a la composición química celular, a la presencia de apéndices, en base a los productos finales de su metabolismo y en función a los

sustratos atacados. Las bacterias ruminales en base a los principales sustratos que emplean se clasifican en:

Bacterias celulolíticas: Estas bacterias tienen la habilidad bioquímica de producir celulasas, enzimas que pueden hidrolizar la celulosa. También pueden utilizar celobiosa (disacárido) y otros carbohidratos, (Grudsky & Arias, 1983). Las bacterias celulolíticas proporcionan sustrato para ser atacado por otras bacterias y por protozoarios. Además, estas bacterias celulolíticas, se encuentran en concentraciones muy elevadas en animales que consumen raciones muy ricas en fibra, (Carrasco, 2016). Las Especies celulolíticas de importancia son: *Bacteroides succinogenes*, *Ruminococcus flavefaciens*, *Ruminococcus albus*, *Clostridium loch headii* y *Cillobacterium cellulosolvens*, (Blanco, 1999).

Bacterias hemicelulolíticas: La hemicelulosa difiere de la celulosa en que aquella contiene tanto pentosas como hexosas y usualmente contiene ácidos urónicos. La hemicelulosa es un importante constituyente de las plantas. Los organismos que son capaces de hidrolizar celulosa, habitualmente también pueden utilizar hemicelulosa. Sin embargo, algunas especies hemicelulolíticas no pueden utilizar la celulosa, (Guerrero, 2011). Dentro de las especies que digieren hemicelulosa tenemos: *Butyrivibrio fibrisolvans*, *Lachnospira multíparus* y *Bacteroides ruminícola*, (Blanco, 1999).

Bacterias amilolíticas: Son bacterias digestoras de almidón. Incrementan su población en forma considerablemente cuando la ración es rica en almidones y polisacáridos complejos, (Carrasco, 2016). Dentro de las especies que digieren hemicelulosa tenemos: *Butyrivibrio fibrisolvans*, *Lachnospira multíparus* y *Bacteroides ruminícola*, (Hobson & Wallace, 1982).

Bacterias proteolíticas: desarrollan enzimas hidrolíticas que rompen enlaces peptídicos, liberando péptidos y finalmente ácidos aminados, (Valdez, 2010). Las bacterias proteolíticas presentes en el rumen incluyen *Bacteroides amylophilus*, *B. ruminicola*, algunas cepas de *Butyrivibrio fibrisolvans* y *Streptococcus bovis*, (Blanco, 1999)

Bacterias lipolíticas: Las bacterias lipolíticas producen la enzima lipasa, que se encarga de catalizar la hidrólisis de las grasas o ácidos grasos y el glicerol. Las bacterias del rumen participan activamente en la hidrogenación de los ácidos grasos insaturados

de cadena larga y son responsables de la composición constante de la grasa corporal de los rumiantes, (Guerrero, 2011).

Bacterias metanogénicas: Las bacterias productoras de metano constituyen una clase especial en la población del rumen por su papel en la regulación de la fermentación total al eliminar H₂ gaseoso. La reducción de CO₂ con H₂ gaseoso es el método primario por el cual se produce CH₄ en el rumen. Sin embargo, suele aparecer *Methanosarcina barkerii*, un germen metanógeno que utiliza metanol, metilamina y acetato para producir CH₄, (Blanco, 1999).

Al conservar baja la concentración de H₂ en el rumen mediante la formación de CH₄, las bacterias metanógenas promueven el crecimiento de otras especies bacterianas en el rumen y permiten una fermentación más eficaz. Las bacterias metanógenas incluyen: *Methanobrevibacter ruminantium*, *Methanobacterium formicum* y *Methanomicrobium mobile*, (Church, 1993) citado por (Blanco, 1999).

Bacterias que utilizan ácidos orgánicos: Usan como fuente de energía productos como el ácido láctico, ácido succínico, ácido málico, ácido fumárico, ácido fórmico, ácido acético y ácido oxálico, (Carrasco, 2016). Estos microorganismos incrementan su población en rumiantes alimentados con ensilados y carbohidratos de fácil fermentación.

Bacterias que utilizan azúcares: Las plantas tiernas verdes poseen grandes cantidades de azúcares solubles accesibles para este tipo de bacterias. La mayoría de las bacterias que son capaces de utilizar polisacáridos, son también capaces de utilizar disacáridos o monosacáridos, (Grudsky & Arias, 1983).

Bacterias productoras de amoniaco: La obtención de amoniaco mediante la desaminación de aminoácidos es realizada por *Bacteroides ruminicola*, *Megasphaera elsdenii*, *Selenomonas ruminantium* y un grupo reducido de especies de *Butyrivibrio*. En general, el amoniaco es relevante como fuente de N para aquellas bacterias del rumen que digieren carbohidratos complejos en lugar de azúcares sencillos.

El amoniaco se obtiene también de la hidrólisis de la urea.3

Tabla 3. Características de algunas bacterias ruminantes.

Especie	Morfología	Movilidad	Productos de fermentación	Sustrato
<i>Fibrobacter succinogenes</i>	Bacilo	-	Succinato, acetato, formiato	Celulosa
<i>Ruminococcus albus</i>	Coco	-	Acetato, formiato, H ₂ y CO ₂	Celulosa
<i>Clostridium loch headii</i>	Bacilo (espora)	+	Acetato, formiato, butirato H ₂ y CO ₂	Celulosa
<i>Ruminococcus Flavefaciens</i>	Coco	-	Acetato, succinato y H ₂	Celulosa
<i>Clostridium polysaccharolyticum</i>	Bacilo (espora)		Acetato, formiato, butirato y H ₂	Celulosa y almidón
<i>Butyrivibrio fibrisolvens</i> *	Bacilo curvado	+	Acetato, formiato, lactato, butirato, H ₂ y CO ₂	Almidón a muy adaptable
<i>Bacteroides ruminicola</i>	Bacilo	-	Formiato, acetato y succinato	Almidón
<i>Ruminobacter amylophilus</i>	Bacilo	-	Formiato, acetato y succinato	Almidón
<i>Selenomonas ruminantium</i>	Bacilo curvado	+	Acetato, propionato y lactato	Almidón
<i>Succinomas amyloytica</i>	Ovalado	+	Acetato, propionato y succinato	Almidón
<i>Streptococcus bovis</i>	Coco	-	Lactato	Almidón
<i>Selenomonas lactilytica</i>	Bacilo curvado	+	Acetato y succinato	Lactato
<i>Megasphaera elsdenii</i>	Coco	-	Acetato, propionato, butirato, valerato, coproato, H ₂ y CO ₂	Lactato
<i>Villonella parvula</i>	Coco	-	Acetato, propionato y H ₂	Lactato
<i>Lachnospira multiparus</i>	Bacilo curvado	+	Acetato, formiato, lactato, H ₂ y CO ₂	Pectina
<i>Anaerovibrio lipolytica</i>	Bacilo	+	Acetato, propionato y succinato	Lipolítico
<i>Eubacterium ruminantium</i>	Bacilo	-	Formiato, butirato, lactosa y CO ₂	Xilano
<i>Lactobacillus ruminis</i>	Bacilo	-	Lactosa	Azúcares
<i>Lactobacillus vitulinus</i>	Bacilo	-	Lactosa	Azúcares
<i>Methanobrevibacter ruminantium</i>	Bacilo	-	CH ₄ (de H ₂ + CO ₂ o formiato)	Metanógenos
<i>Methanomicrobium mobile</i>	Bacilo	+	CH ₄ (de H ₂ + CO ₂ o formiato)	Metanógenos
<i>Eubacterium oxidoreducens</i>	Bacilo		Lactosa y H ₂	Aromáticos

Fuente: Elaboración propia con datos de (Grudsky & Arias, 1983).

Bacterias que sintetizan vitaminas: Una vez desarrollada la fermentación en el animal joven, el rumiante no tiene necesidad de vitaminas del complejo B o la vitamina K, esto porque los microorganismos del rumen sintetizan estas vitaminas. Estas son liberadas cuando los microorganismos son digeridos por el animal. Importancia relevante tienen las bacterias que tienen la capacidad de sintetizar

vitaminas del complejo B, a partir de sustratos, producto de residuos metabólicos de otras bacterias, especialmente *Selenomona ruminantium*, (Grudsky & Arias, 1983).

Además de los sustratos primarios como fuente de energía, el crecimiento y desarrollo de las bacterias en el rumen, requiere de otros factores de crecimiento como son vitaminas y minerales. En algunos casos sales específicas como sulfitos y otros agentes con función amortiguante.

Los productos de la fermentación ruminal son muy variados entre los que se encuentran el lactato y succinato, que sirven como

sustratos de energía primarios para otras bacterias, pero la mayor concentración de productos obtenidos por fermentación ruminal son los Ácidos Grasos Volátiles (AGV).

Protozoos del Rumen.

Como parte de la microflora ruminal están los protozoarios, que son microorganismos simples, microscópicos (15 a 250 µm de largo y 10 a 200 µm de ancho), predominantemente unicelulares y con núcleo diferenciado. En el complejo retículo-rumen se pueden encontrar hasta un millón de protozoarios suspendidos por mililitro de líquido ruminal, lo cual puede representar hasta un 50% de la biomasa ruminal, (Rodríguez & Valencia, 2008).

Una característica particular de los protozoarios, es su capacidad de asimilar azúcares solubles y transformar el 80 % de estos en un polisacárido similar al almidón. Esto es importante porque disminuye el riesgo de acidosis, además de que este polisacárido es utilizado como sustrato de reserva, en el caso de que el aporte externo de azúcares sea insuficiente, (Carrasco, 2016).

Los protozoos no pueden sintetizar proteínas a partir de N no proteico, tampoco pueden degradar la celulosa, pero en compensación están capacitados para almacenar hidratos de carbono en forma de polisacáridos somáticos, Sitio Argentino de Producción Animal 4 de 5 los cuales pueden ser usados como fuente de energía durante los intervalos de ingesta de alimentos. El ingreso posterior de células protozoarias al abomaso y al intestino permite el aprovechamiento de sus proteínas somáticas por parte del rumiante. El valor biológico de estas proteínas es de 80-81 %, y su digestibilidad en 91 %, (Blanco, 1999).

El total de los protozoos son anaerobios estrictos. La mayoría de las especies son ciliados y flagelados. Los ciliados pertenecen a la familia Isotrichidae (géneros Isotricha y Dasytricha) y a la familia Ophryoscolecidae (géneros Entodinium, Diplodinium, Epidinium y Ophryoscolex). La clasificación de los protozoarios ruminantes también se basa en su morfología y su afinidad al sustrato que degradan (ejemplo: localización de cilios, celulolíticos, amilolíticos, proteolíticos).

Hongos.

La microflora ruminal cuenta también con hongos microscópicos que ayudan en la digestión de los alimentos. Se clasifican dentro

del filum Chytridomycota del reino Fungae, (Rodríguez & Valencia, 2008).

Los hongos que se encuentran en el rumen tienen la capacidad de fermentar polisacáridos (celulosa), calculándose que más del 8% de la biomasa microbiana del rumen está constituida por éstos (Nava & Díaz, 2001)

Metabolismo microbiano ruminal.

La biotransformación en el rumen se desarrolla por la actividad biológica fermentativa de la microflora ruminal.

Digestión de la celulosa: La utilización de la celulosa, posiblemente sea la función más importante de los procesos microbianos del rumen. La hidrólisis de la celulosa se da por una enzima bacteriana llamada celulasa, cuya acción disminuye cuando la dieta es rica en almidón, azúcares simples y otros azúcares solubles.

El producto final de la hidrólisis de la celulosa es el ácido acético, pero también pueden producirse en forma indirecta ácido propiónico y ácido butírico, (Carrasco, 2016).

Digestión de azúcares en el rumen: La hidrólisis de los carbohidratos, realizada por las bacterias ruminantes, produce grandes cantidades de Ácidos Grasos Volátiles (AGV); Acético, Propiónico y Butírico, representan el 70% de la fuente de energía utilizada por los rumiantes, en este caso por los bovinos. Virtualmente todo el ácido acético, el propiónico y el ácido butírico son absorbidos por el epitelio del rumen y transportados vía porta al hígado, (Nava & Díaz, 2001).

Los polisacáridos más importantes en el rumen son; celulosa, hemicelulosa, almidones, pectina y lignina, algunos azúcares simples como los disacáridos maltosa y celobiosa, que son productos intermedios de la hidrólisis de azúcares complejos, (Carrasco, 2016).

Digestión del almidón: Las bacterias productoras de amilasa son las que degradan el almidón, resultando como producto final de este proceso el ácido propiónico, pero también suele producirse ácido láctico y algunos sacáridos de cadena larga.

Cuando hay grandes cantidades de almidón en la dieta, hay síntesis elevada de ácido láctico lo que ocasiona un cierto grado de acidez ruminal.

Digestión de las pectinas: Las pectinas son desdobladas por bacterias productoras de pectinesteras a metanol y ácido galacturónico, que posteriormente se convierten en metano y pentosas, las cuales (por la vía colateral de las pentosas) se transforman en fructosa, la cual entra al ciclo de Krebs y produce una fuente importante de energía. Las pectinas se digieren más rápidamente que la celulosa y la hemicelulosa, (Bach & Calsamiglia, 2006)

Digestión de azúcares simples: Los azúcares simples, integran formas intermedias de la digestión de almidones, azúcares complejos y otros polisacáridos. Por otro lado, también pueden estar presentes en forma particular. Son abordadas por bacterias productoras de disacaridas para producir ácido propiónico.

Conclusiones.

El éxito en la producción lechera depende de varios factores. Siendo uno de ellos tener conocimiento básico de las funciones del rumen, esto para de alguna manera poder mantener uniforme las condiciones del rumen y de esta manera garantizar su funcionamiento y por ende obtener una buena producción.

Durante los últimos años se han desarrollado varios trabajos de investigación para caracterizar a la diversa población de microorganismos que habitan el rumen. Actualmente ha sido identificada la importancia funcional de la mayoría de las especies bacterianas predominantes del rumen, basándose en diversos aspectos como la preferencia por diversos substratos y/o por los productos finales de su fermentación. Todo este conocimiento ayuda a comprender de mejor forma la fermentación en el rumen aspecto que hace que mejore la eficacia y la producción de los bovinos lecheros.

Referencias bibliográficas

Fuente.

<https://www.engormix.com/ganaderia-leche/articulos/bovino-lechero-rumen-t46219.htm>

Clic Fuente

