

MONOGRAFIA
DEFAUNACION RUMINAL UN MECANISMO FAVORABLE EN LA EFICIENCIA
NUTRICIONAL DE BOVINOS

JOHANNA LEGUIZAMON MEJIA
FANNY PATRICIA CARREÑO DEVIA

DIRECTOR:

FARIN SAMIR GOMEZ GARCIA
Médico Veterinario y Zootecnista

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD CEAD –
ACACIAS
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE
PROGRAMA ZOOTECNIA
2013

MONOGRAFIA
DEFAUNACION RUMINAL UN MECANISMO FAVORABLE EN LA EFICIENCIA
NUTRICIONAL DE BOVINOS

Elaborado por:

JOHANNA LEGUIZAMON MEJIA
FANNY PATRICIA CARREÑO DEVIA

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para
Optar al título de Zootecnista

FARIN SAMIR GOMEZ GARCIA
Médico Veterinario y Zootecnista

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD CEAD – ACACIAS
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE
PROGRAMA ZOOTECNIA

2013

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma del Jurado

Firma del jurado

Acacias, Octubre 25 de 2013

AGRADECIMIENTOS

Primero y antes que nada, dar gracias a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Agradecer hoy y siempre a mi familia por el esfuerzo realizado por ellos. El apoyo en mis estudios, de ser así no hubiese sido posible. A mis padres y demás familiares ya que me brindan el apoyo, la alegría y me dan la fortaleza necesaria para seguir adelante.

Un agradecimiento especial a nuestro asesor Farin Samir Gomez Garcia, y además a nuestro decano el doctor Oscar Javier Olarte Blandón y tutores Dayro Enrique cortes y Javier Martinez, por la colaboración, paciencia, apoyo y sobre todo por esa gran amistad que nos brindó, por escucharnos y aconsejarnos siempre.

DEDICATORIA

Le dedico primeramente mi trabajo a Dios fué el creador de todas las cosas, el que me ha dado fortaleza para continuar cuando a punto de caer he estado; por ello, con toda la humildad que de mi corazón puede emanar.

De igual forma, a mis Padres, a quien le debo toda mi vida, les agradezco el cariño y su comprensión, a ustedes quienes han sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante buscando siempre el mejor camino.

A mis maestros, gracias por su tiempo, por su apoyo así como por la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional, en especial a nuestro asesor Farin Samir Gomez Garcia y además a nuestro decano el doctor Oscar Javier Olarte Blandón, por haber guiado el desarrollo de este trabajo y llegar a la culminación del mismo.

1. RESUMEN DEL PROYECTO

La defaunación es una de las muchas formas de manipulación de la fermentación del rumen para mejorar la eficiencia y productividad de los rumiantes. No obstante, con este procedimiento se pueden obtener efectos benéficos sólo si consideran las diversas interacciones existentes en el ambiente ruminal.

En esta monografía se realizó una revisión bibliográfica que permita al lector entender como primera medida el ambiente ruminal, los actores involucrados (microorganismos), sus interacciones, funciones y de qué manera de acuerdo a las poblaciones se presentan ventajas o desventajas para aprovechar los pastos.

Todo ello porque es necesario optar por mecanismos funcionales para que productores del sector ganadero puedan implementar manejos nutricionales con defaunación para aumentar eficiencia; que esta diferencia que se debe marcar en los mercados actuales.

ABSTRACT

Defaunation is one of many forms of manipulation of ruminal fermentation efficiency and to improve the productivity of ruminants. However, this procedure may be obtained only if considered beneficial effects various interactions in the rumen environment.

This monograph aims to review literature that allows the reader to understand as a first step the rumen environment, stakeholders (microorganisms), their interactions, and functions according to how populations are advantages and disadvantages to exploit the grasslands.

All this because you need to opt for functional mechanisms for livestock producers can implement nutritional handlings defaunation to increase efficiency, whereas this difference to be dialed in today's markets.

INTRODUCCION

El bovino se alimenta de forrajes de estructuras complejas (carbohidratos estructurales) que deben ser procesados por mecanismos fermentativos y por acción de microorganismos que conviven en el ambiente ruminal. Como primera instancia del proceso, bacterias hongos y protozoos realizan un trabajo relevante para hacer accesible los nutrientes presentes en el forraje o sustrato consumido.

La gran biomasa de protozoarios que existe en el rumen es de 40 a 80% de masa microbiana, y su habilidad para digerir el mayor número de componentes de alimentos sugiere que estos tienen un rol importante en la fermentación ruminal.

Desde el descubrimiento de los protozoarios ciliados en los rumiantes, se han realizado muchos trabajos acerca de su morfología, sus funciones y sus relaciones con el huésped. Defaunación no se refiere necesariamente a la eliminación total de los protozoarios del ecosistema ruminal. La defaunación es un factor sustentable para la energía metabolizable en los rumiantes, ya que es un factor que incrementa la producción energética.

Por las razones expuestas se ha realizado un trabajo de consulta bibliográfica para mostrar de manera sencilla y entendible lo que significa en términos técnicos, los resultados de múltiples investigaciones sobre el tema.

INDICE GENERAL

TABLA DE CONTENIDO

Numero	Nombre	Pág.
	RESUMEN	6
	ABSTRACT	7
	INTRODUCCION	8
1	CUERPO DEL TRABAJO	12
1.1	LOSRUMIANTES	12
1.1.1	Taxonomía de los Rumiantes	12
1.1.2	Aparato Digestivo de los Rumiantes	13
1.1.3	Estómago de los Rumiantes	13
1.1.4	Rumen	14
1.1.5	Retículo	15
1.1.6	Omaso	15
1.1.7	Abomaso	15
1.2	RUMEN – CARACTERÍSTICAS GENERALES	15
1.2.1	Ambiente ruminal.	16
1.2.2	Características físico-químicas del rumen	18
1.2.3	Fisiología ruminal	18
1.2.4	Cambios en el ecosistema ruminal	20
1.3	ORGANISMOS IMPLICADOS EN LA DIGESTION DE LA PARED CELULAR VEGETAL	21
1.3.1	los hongos	21
1.3.2	Protozoos	22
1.3.3	Bacterias	23
1.4	FACTORES QUE INCIDEN EN LOS PROCESOS DE DIGESTIÓN MICROBIANA DE LOS FORRAJES	25
1.4.1	Fermentación ruminal	26
1.4.2	Poblaciones ruminales	27

1.4.3	Bacterias	27
1.4.4	Protozoos	29
1.4.5	Hongos	29
1.4.6	Interrelaciones entre los microorganismos	30
1.5	EFFECTO DE LA DIETA SOBRE LAS POBLACIONES MICROBIANAS	30
1.5.1	Efecto de los protozoarios sobre la degradación de la pared celular y sus interacciones con los componentes de la dieta	31
1.5.2	Efectos de la defaunación sobre la producción de AGV	32
1.5.3	Efectos de la defaunación sobre el pH ruminal	34
1.5.4	Efectos de la defaunación sobre la producción de NH ₃	35
1.5.5	Efecto de la defaunación sobre la digestibilidad de la proteína	39
1.5.6	Efectos de la defaunación sobre la digestibilidad	40
1.5.7	Efecto de la defaunación sobre la eficiencia alimentaria	41
1.5.8	Efecto de los forrajes arbóreos y arbustivos en la población microbiana ruminal	42
1.5.9	Efecto de las arbóreas y arbustivas sobre los parámetros fermentativos y la dinámica digestiva de los rumiantes	44
1.6	EFFECTOS DE LOS METABOLITOS SECUNDARIOS PRESENTES EN FORRAJES ARBÓREOS Y ARBUSTIVOS EN LA DINÁMICA DIGESTIVA DE LOS RUMIANTES	46
1.7	DEFAUNACIÓN RUMINAL	49
1.7.1	Función de los protozoarios	49
1.8	RELACIONES ECOLÓGICAS ENTRE LOS PROTOZOARIOS Y LA POBLACIÓN BACTERIANA (AMILOLÍTICA, CELULOLÍTICA, METANOGÉNICA)	51
2	GLOSARIO	53
3	CONCLUSIONES	55
4	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	56

LISTA DE FIGURAS

Numero	Nombre	Pág.
Figura 1	Estomago de los rumiantes.	13

LISTADO DE TABLAS

Numero	Nombre	Pág.
Tabla 1	Producción de Ácidos Grasos Volátiles en animales faunados y defaunados	33
Tabla 2	Efectos de la defaunación sobre el pH ruminal	35
Tabla 3	Efectos de la defaunación sobre la producción de NH ₃	37
Tabla 4	Efecto de la defaunación en los aminoácidos esenciales	
Tabla 5	Consumo de materia seca en corderos faunados y defaunados.	

1. CUERPO DEL TRABAJO.

1.1 LOS RUMIANTES

Los rumiantes son animales herbívoros cuyo principal alimento son las plantas que contienen carbohidratos fibrosos, su principal característica y lo que lo diferencia de las especies de estómago simple o no rumiantes, es la posibilidad de degradar el alimento ingerido compuesto principalmente de celulosa, hemicelulosa y pectina.

Los rumiantes poseen la capacidad de digerir los alimentos en dos etapas, primero los ingiere y luego realiza la rumia, que es un proceso que consiste en regurgitar el material semidigerido y volverlo a masticar para deshacerlo, agregarle saliva y una nueva deglución. Los rumiantes tienen un aparato digestivo de importancia fundamental los procesos de digestión y absorción.

Estos, por tener una dieta de vegetales ricos en celulosa, dependen de las poblaciones microbianas que se encuentran en su aparato digestivo, para la degradación de la celulosa, los mismos que producen una hidrólisis preliminar de la celulosa antes de que alcance el intestino. Ángeles 2002.

1.1.1 Taxonomía de los Rumiantes

Por las características zoológicas los rumiantes son parte del suborden *Ruminantia* del Orden *Artiodactyla*.

En los subórdenes *Suiformes*, *Typoda* y *Ruminantia*, las especies poseen estómagos con varios compartimentos, pero los *Ruminantia* de la familia *Cervidae*, *Giraffidae*, *Antilocapridae* y *Bovidae*, poseen estómagos de mayor

complejidad por ser estómagos de cuatro compartimentos Delgado 2006.

1.1.2 Aparato Digestivo de los rumiantes

El aparato digestivo de los rumiantes, es utilizado para que los alimentos ingeridos sean fragmentados mecánica y químicamente, en sus moléculas constitutivas para que puedan ser absorbidos y utilizados en la producción de energía, en el crecimiento y en la renovación celular y tisular.

El aparato digestivo incluye la boca, esófago, un estómago de cuatro compartimientos (tres preestómagos y un estómago verdadero), intestino delgado e intestino grueso Nava, Cuauhtémoc & Díaz 2001.

1.1.3 Estómago de los Rumiantes

El estómago de los rumiantes es muy importante, debido a que permite aprovechar los alimentos ingeridos. Este presenta varias cavidades y está compuesto por cuatro compartimientos. Gloobe 1989

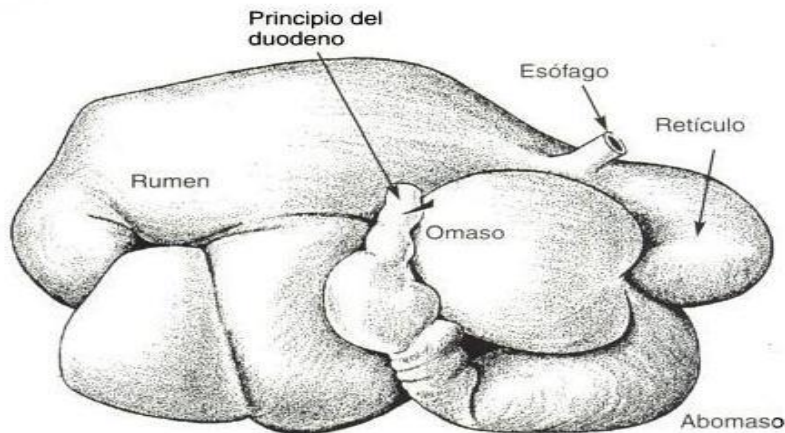
- Rumen o panza
- Retículo o redecilla o bonete
- Omaso o libro
- Abomaso o estomago glandular

Las tres primeras partes se las conocen como preestómagos o proventrículo y no poseen membrana glandular que cubra el epitelio escamoso estratificado. En los compartimientos del preestomago se da la degradación enzimática y la subdivisión de los alimentos, principalmente la celulosa, por medio de la flora microbiana y de la síntesis de ácidos grasos de cadena corta Redondo 2003.

El estómago de los rumiantes ocupa la totalidad de la mitad izquierda de la

cavidad abdominal y una parte de la mitad derecha.

Figura 1. Estomago de los rumiantes.



Fuente: Redondo 2003

1.1.4 Rumen

El rumen es el primer pre estómago y el más grande. Es un saco aplanado, lateralmente dilatado y de gran capacidad. Ocupa la totalidad de la cavidad abdominal izquierda y con su porción caudoventral a traviesa parcialmente la línea media y llega a la mitad derecha del abdomen. Este compartimento, constituye más del 65% del volumen total del estómago y puede contener hasta 115 litros de material con el 10% al 20% de materia seca Redondo 2003.

El rumen y el retículo se forman, a partir de la región craneal del estómago embrionario, cranealmente llega hasta el diafragma y caudalmente se extiende hasta la entrada de la pelvis.

En el rumen, se distinguen dos superficies, una dirigida hacia las vísceras o cara visceral, que es algo irregular y está relacionada fundamentalmente con él omaso, el abomaso, el intestino, hígado, páncreas, riñón izquierdo, glándula adrenal homolateral, la aorta y la vena cava caudal. (Getty, Sisson & Grossman, 2005

citado por Rotger en el mismo año). Y la otra superficie, dirigida hacia la pared de lado menor parietal, que es convexa, y está relacionada con el diafragma, la pared izquierda del abdomen y el bazo. Además posee dos bordes; el borde dorsal, que se relaciona con la musculatura sublumbar y el diafragma, y el borde ventral que se relaciona con la pared abdominal ventral y el abomaso (Globe, 1989 citado por Rotger 2005). Las paredes del retículo-rumen son musculares, poseen un extenso sistema nervioso o intrínseco y son capaces de desarrollar y coordinar patrones de movimiento muy complejos, que permiten la retención selectiva en el rumen del material fermentable y la liberación de los residuos no fermentables.

El rumen proporciona un ambiente apropiado, con un suministro de alimentos, para el crecimiento y reproducción de microorganismos, por ello la digestión en esta zona es únicamente por acción de microorganismos. En la obra "Los ácidos grasos volátiles, fuente de energía en los Rumiantes" de Zavaleta, se menciona que en el interior del rumen, las poblaciones microbianas a través de enzimas intra y extra celulares, convierten los materiales vegetales en ácidos grasos volátiles de bajo peso molecular como: el ácido fórmico, el acético, el propiónico, el butírico, el isobutírico, el 2-metilbutírico, el valérico, el isovalérico, el caproico y el caprílico, que son absorbidos por las paredes del rumen y satisfacen las necesidades nutritivas del animal, además se produce dióxido de carbono y metano, los cuales se eliminan como productos residuales.

1.1.5 Retículo

El retículo toma su nombre, de la disposición en forma de red de los pliegues de su mucosa, y está situado entre el diafragma y el rumen; en la región intratorácica de la cavidad abdominal, entre el sexto y octavo espacio intercostal hacia la línea mediana. Esta cavidad se comunica con el rumen, a través del pliegue retículo-ruminal que los convierte en una sola unidad funcional. Los ácidos grasos producidos por la fermentación microbiana son absorbidos en el rumen y el retículo

Owens 1986.

1.1.6 Omaso

Se encuentra en su mayor parte en el lado derecho de la región intratorácica de la cavidad abdominal, entre la séptima y onceava costilla, posee forma esférica y presentados partes claramente diferenciadas, el cuerpo y el canal o nasal Owens 1986.

1.1.7 Abomaso

El abomaso es el estómago verdadero de los rumiantes, tiene forma de una pera prolongada y está situado sobre la pared ventral del abdomen Owens 1986.

1.2 RUMEN – CARACTERÍSTICAS GENERALES

El rumen es un divertículo grande, aplanado, lateralmente casi ocupa por completo la mitad izquierda de la cavidad abdominal y se extiende desde el diafragma hasta la cavidad pélvica.

Está delimitado externamente por los surcos longitudinales derecho e izquierdo que dan a su vez los sacos dorsal y ventral, y también los surcos coronarios anterior y posterior que dan lugar a los sacos ciegos anteriores y posteriores. Su cara parcial se relaciona con el diafragma, pared izquierda del abdomen y el bazo. Su cara visceral se relaciona con el omaso, el abomaso, el hígado, el páncreas, el intestino, el riñón, el útero en la hembra, la aorta posterior y la vena cava. (Sisson, 1974 citado por Martínez 2005).

El revestimiento interno del rumen está constituido por un epitelio estratificado córneo y presenta numerosas papilas de formas variadas, particularmente abundantes o voluminosas en la región anterior.

Lewis1962 citado por Martínez 2005) plantea que la dieta tiene influencia importante en el adecuado desarrollo de la mucosa ruminal. Al nacer, las pailas rumiales son menores de 1 mm de altura, y con la ingestión de alimentos secos se incrementa notablemente en cuatro semanas. En 7 u 8 semanas alcanza su tamaño y forma normal.

1.2.1 Ambiente ruminal.

En el ambiente ruminal se encuentran una de las más grandes densidades de población de microorganismos conocidas, las cuales varían en tipo y proporción según su alimento, estos mantienen una relación simbiótica con el hospedero.

El rumen provee un ambiente apropiado, con un suministro generoso de alimentos, para el crecimiento y reproducción de microbios. La ausencia de aire (oxígeno), en el rumen favorezca el crecimiento de especies especiales de bacterias, entre ellos las que pueden digerir paredes de las celulosa de las plantas (celulosa), para producir azúcares sencillos (glucosa). Los microbios fermentan glucosa para obtener energía para crecer y ellos producen ácidos grasos volátiles (AGV), como productos finales de fermentación.

Mientras crecen los microbios del rumen, producen aminoácidos, las piedras fundamentales para las proteínas. Las bacterias pueden utilizar amoníaco o urea como fuente de nitrógeno para producir aminoácidos. Yokohama & Johnson 1988.

La mayoría está compuesta por microorganismos anaerobios estrictos, pero hay una pequeña población de bacterias anaerobias facultativas, que toleran pequeñas concentraciones de O₂ que pueden utilizar en su metabolismo. La población microbiana del rumen, está constituida por bacterias, hongos y protozoos. El tipo y proporción de microorganismos varían en función del tipo de alimento. Las bacterias, son los principales agentes que actúan en la fermentación de los carbohidratos estructurales y la proteína de las plantas. Los protozoos

ciliados son importantes en la digestión de carbohidratos no estructurales, intervienen en el fraccionamiento físico del alimento y juegan un importante papel como reguladores de PH ruminal Yokohama & Johnson 1988.

Así mismo el rumen provee un ambiente apropiado, con un suministro generoso de alimentos, para el crecimiento y reproducción de los microbios. La ausencia de aire (oxígeno), en el rumen favorece el crecimiento de especies bacterianas, entre ellas las que pueden digerir paredes de las células de las plantas (celulosa), para producir azúcares sencillos (glucosa). Los microbios fermentan glucosa para obtener energía para crecer y ellos producen Ácidos grasos Volátiles (AGV), como productos finales de fermentación.

1.2.2 Características físico-químicas del rumen

El rumen se puede considerar como un fermentador de temperatura constante que presenta condiciones anaerobias (potencial de oxígeno: 10^{-22} M). Debido al taponamiento producido por la saliva, el pH se mantiene constante en torno a 6.5. Este taponamiento salivar es importante ya que durante la fermentación ruminal se generan ácidos orgánicos que tienden a bajar el pH Fondevila 1998.

En conjunto, puede considerarse el rumen como un sistema de cultivo continuo cuya tasa de crecimiento está controlada por el aporte nutritivo derivado de la alimentación del animal (sistema quimiostático)

1.2.3 Fisiología ruminal

El proceso en el rumen dura cerca de 9 h. Los alimentos rumiados pasan por la redécilla, se devuelven a la boca donde se mastican y pasan al resto de compartimentos gástricos (cuajar). La digestión que tiene lugar en el rumen es únicamente bacteriana: el rumen no produce enzimas.

Los microorganismos ruminales no sólo digieren azúcares de alto peso molecular sino que también son responsables de la producción de los aminoácidos y factores

de crecimiento necesarios para el desarrollo del animal que, por consiguiente, no necesita ingerirlos en la dieta.

Los microorganismos ruminales pertenecen a varios grupos taxonómicos: **(1) bacterias**, principalmente bacilos o cocos Gram-negativos, aunque también hay grupos Gram-positivos. Llegan a alcanzar números muy altos (10^{10} a 10^{11} bacterias por gramo). Los grupos principales son *Ruminococcus* y *Bacteroides*. Ecológicamente se producen equilibrios entre los diferentes grupos bacterianos, equilibrios que si se desestabilizan son causantes de problemas en el rendimiento del proceso ruminal (por ejemplo: hay bacterias que metabolizan algunos productos secundarios de otras, el H_2 por ejemplo, que si no es eliminado rápidamente puede llegar a ser inhibidor de otros procesos ruminales. Por consiguiente, el mantenimiento de microorganismos como *Methanobacterium ruminantium* responsable de la formación de metano a partir de CO_2 e H_2 es imprescindible para el proceso). **(2) Arqueas**, como microorganismos metanógenos. **(3) Protozoos**: hay entre 10^5 y 10^6 unidades por gramo; anaerobios (lo que es muy infrecuente entre los protozoos) ciliados con cierta capacidad de degradación de celulosa y de almidón mediante fermentación. Actúan como depredadores de bacterias Fondevila 1998.

Entre todos estos microorganismos se establecen cadenas tróficas en las que unos utilizan como fuente de alimento los residuos de los anteriores. Así mismo, se producen cadenas por protozoos predadores de eubacterias y arqueas

Desde el punto de vista bioquímico se produce la degradación de la celulosa según el esquema siguiente:

Celulosa, celobiosa glucosa fermentación ácido-mixta (ácidos grasos volátiles) ácidos grasos absorbidos en el rumen la fermentación rinde ácidos orgánicos de cadena corta (acético, propiónico y butírico).

La degradación de la celulosa la inician microorganismos celulolíticos que representan entre el 1 y el 5% de la flora ruminal. La mayoría de los

microorganismos de esta flora no son celulolíticos, aunque en conjunto pueden degradar un gran número de polímeros de alto peso molecular como almidón, pectina, lípidos, etc. De los residuos vegetales, sólo la lignina no es digerible por la flora ruminal. Los productos finales del proceso ruminal son los ácidos grasos de cadena corta, también CO₂ y CH₄ (65%-35%). El origen del metano está en la actividad de *Methanobacterium ruminantium* partir del CO₂ y del H₂ producidos en la fermentación ácida mixta. Estos gases se eliminan mediante eructos (lo que, probablemente sirva para diseminar las bacterias en la población y, por otra parte, es origen de una gran cantidad del metano libre en la atmósfera). La eliminación de gases mediante eructos es necesaria para el proceso porque pueden llegar a suponer 80 de los 100 litros de la panza del animal. Fondevila 1998.

Si no se produce la eliminación de estos gases (por ejemplo, porque se produce espuma en la panza, lo que ocurre en ciertos casos de ingestión de alimento en condiciones incorrectas) se pueden originar problemas serios que pueden causar la muerte del animal (patología denominada timpanitis). Los restos no digeridos durante el proceso ruminal y las bacterias y protozoos son enviados al estómago después del proceso de masticación. En la práctica, los finales residuos no metabolizados son de tipo lignina Ruiz 1987.

1.2.4 Cambios en el ecosistema ruminal

La composición bacteriana depende de la dieta y de cuál sea la principal fuente de carbono (celulosa, almidón o pectina; según el alimento sea heno, granos o heno de leguminosas, por ejemplo).

El rumen es un ecosistema muy constante: cambios bruscos en él pueden llevar a la muerte del animal (ej: *S. bovis* crece de forma explosiva cuando es brusco la dieta de heno a grano; como esta bacteria usa el almidón mediante fermentación da lugar a una fuerte acidosis). Cambios graduales en la dieta dan lugar a selección de nuevas poblaciones de microorganismos. En otras ocasiones, la dieta puede dar lugar a la formación de espuma que dificulta o impide la erupción.

Hay un equilibrio entre microorganismos metanógenos (arqueobacterias) e hidrogénicos que, a su vez, son inhibidos en condiciones de concentración alta de hidrógeno.

Se puede añadir urea ($\text{H}_3\text{C}-\text{CO}-\text{CH}_3$) al forraje para que sea fuente de nitrógeno para los microorganismos ruminales que así producen proteínas que luego utiliza el animal Ruiz 1987.

1.3 ORGANISMOS IMPLICADOS EN LA DIGESTION DE LA PARED CELULAR VEGETAL

1.3.1 Los hongos

Los hongos son los primeros organismos en invadir y digerir el componente estructural de las plantas y tienen una relación estrecha con las bacterias permitiendo así que estas penetren al compartimiento intracelular y colonicen el material vegetal, iniciando el proceso de degradación de las fracciones insoluble del alimento. González. 2002. La población de hongos anaeróbicos del rumen está directamente relacionadas con el contenido en fibra de la dieta, y su proporción disminuye en dietas ricas en almidón o azúcares solubles. Grenet, E. et al. (1989) citado por González. 2002. Los hongos ruminales tienen capacidad enzimática de hidrolizar celulosas y xilano, aunque parece que no pectina. Lógicamente, su actividad enzimática frente a estos substratos es variable dependiendo de su origen filogenético, en especial de su estructura rizoide. Pero se ha postulado que algunas especies, como *Neocallimastix frontalis*, *Piromyces* comúnis y *Orpinomyces joyoni* son tantas o incluso más eficientes en la digestión de los polisacáridos estructurales como las especies bacterianas más activamente celulíticas.

La acción fúngica sobre la pared celular vegetal y su contribución a la digestión ruminal de esta, parece estar muy relacionada con su activa colonización. Se ha observado mediante crioscopia electrónica que las zoosporas son atraídas por quimiotactismo, y se adhiere rápidamente a las partículas, preferentemente en

estomas y zonas de corte de los tejidos lignificados (esclerénquima, xilema), aunque los tejidos vegetales no lignifican (floema, parénquima medular) son los más rápidamente degradados González. 2002. En este sentido, los hongos ruminales son especialmente activos frente a substratos muy lignificados. De hecho aunque no está probada su capacidad de utilización de lignina como fuente de nutrientes, *N. frontalis* puede solubilizar pequeñas cantidades de lignina de la pared celular vegetal, probablemente debido a la solubilidad de compuestos fenilicos, en mayor medida que las bacterias. González. 2002, aumentando la accesibilidad de los polisacáridos estructurales para las bacterias. Los hongos ruminales, a diferencia de algunas bacterias, ni son capaces de fermentar los compuestos fenilicos. Por otra parte, la acción mecánica de los hongos sobre la pared celular vegetal disminuye la rigidez estructural de los forrajes, y favorece la ruptura de las partículas de forraje, aumentando también así la superficie accesible para la acción bacteriana.

1.3.2 Protozoos

Su principal función es ingerir partículas del tamaño de las bacterias, como almidón, fibras, cloroplastos. La mayoría de los componentes son Ciliata, los organismos unicelulares más complejos. Su biomasa es similar a la de las bacterias, pero puedes sobrepasarlas más de tres veces según la dieta, o inclusive desaparecer. Las diferentes especies varían el tamaño. Entre 25 a 250, agrupándose en 17 géneros de la sub clase Entodinio morphey y 2 géneros de la sub clase Holotriches, que difiere en su morfología y metabolismo. Las especies presentes varían con la especie anual, la localidad y la dieta Galindo et al 2006.

Los tiempos de generación oscilan entre 0.5 a 2 días. Los más lentos pueden llegar a desaparecer con los fluidos del rumen varios permanecen adheridos a fragmentos de alimento, por lo que son más retenidos que las bacterias y una gran parte pueden ser lisadas en el rumen.

Los protozoos provocan un aumento en la actividad proteolítica ruminal. Estos microorganismos, aunque son capaces de sintetizar aminoácidos, no lo hacen en

cantidades significativas, por lo que son requeridos para la síntesis de proteínas protozoarias las obtienen de la digestión de bacterias, zoosporas de hongos y de las proteínas vegetales y aminoácidos libres, consumidos por el hospedero. Ambos aspectos hacen que cuando los protozoos están presentes en el rumen se reduzca la eficiencia de utilización de la proteína por el rumiante. Galindo et al 2006.

El efecto de los protozoos sobre la digestión de la fibra vegetal depende del papel y de la importancia relativa de los distintos géneros y especies en el ecosistema ruminal. En general, la presencia de protozoos aumenta, directa o indirecta, la digestión ruminal de celulosa y hemicelulosas respecto a animales defaunados. Aunque las actividades enzimáticas amilasa, B- celubiosidasa y B- glucosidasa – implicadas en la hidrólisis de celulosa- por una parte, y hemicelulasa y xilanasas, por otra, están ampliamente distribuidas entre los protozoos del rumen, se continúa especulando si su acción puede ser debida, al menos en parte, a las bacterias que contienen.

1.3.3 Bacterias

A pesar del papel de las poblaciones protozoaria y fúngica del rumen en la digestión de la pared celular vegetal, parece claro que son las bacterias los microorganismos más activamente implicados en este proceso, tanto cualitativamente, por su alta actividad enzimática, como a nivel cuantitativo, por la magnitud de su repercusión debida a su elevada concentración en el rumen.

Las tres especies bacterianas celulolíticas predominantes, *Fibrobacter succinogenes*, *Ruminococcus flavefaciens* y *R. albus*, tienen características peculiares que las diferencian de otras especies que pueden estar también implicadas en el proceso de digestión de la pared celular vegetal. Algunas, como *Butyrivibrio fibrisolvens*, *Clostridium locheadii*, *Clostridium longisporum* o *Eubacterium cellulosolvens* pueden considerarse también celulolíticas, pero su importancia en la digestión de la pared celular es secundaria, en el caso de las tres últimas, por

su escasa concentración en el rumen tanto Yokohama & Johnson 1988. Como *Cl. longisporum* carecen de estructuras de adhesión de tipo celulosoma, limitándose en gran medida su capacidad de digestión del substrato. Además, es necesario considerar otras especies no celulolíticas que utilizan productos resultantes de la hidrólisis de las paredes vegetales, que pueden contribuir a evitar efectos de retroinhibición enzimática por acúmulo de catabolitos en el medio y a su vez aportar nutrientes esenciales (amoníaco, ácidos grasos ramificados) a las bacterias más activamente implicadas.

A partir de estudios con protozoos cultivados invitro, tratados con antibióticos para eliminarla posible contaminación bacteriana, se ha observado que la celulosa cristalina (avicel) es degradada en un 30% por protozoos de los géneros *Eudiplodinium* y *Polyplastron*, y en un 10% por *Epidinium*. Jouany, Yokohama & Johnson 1988. La capacidad de degradar celulosas sustituidas (hexaetilcelulosa, carboximetilcelulosa), es mayor para todos los géneros, siendo más limitada en *Entodinium* e *Isotricha*.

Sin embargo, el crecimiento en medios que incluyen polisacáridos estructurales como única fuente de energía respecto a un medio sin substrato es muy variable, sólo *Eudiplodinium* y *Epidinium* responden positivamente a la incorporación de una fuente de celulosa o dexilano.

Entre los Ophryoscolecidos, los protozoos de los géneros *Eudiplodinium*, *Polyplastron* y *Epidinium* son activos degradadores de dexilano, utilizándolo como fuente de nutrientes, y degradan celulosas sustituidas con bajo grado de cristalinidad, aunque no son capaces de utilizar los productos de su hidrólisis. Sólo los dos primeros géneros mencionados son capaces de digerir y utilizar celulosa cristalina.

Los protozoos del género *Entodinium* no son capaces de actuar frente a este tipo de substratos, mientras que los protozoos del género *Isotricha* tienen cierta actividad β -glucanasa, pero no utilizan los productos de la hidrólisis para su

crecimiento. La capacidad de polimerizar pectina está presente en algunas especies de protozoos, pero la posibilidad de utilizarlos productos liberados como fuente de energía es mínima Yokohama & Johnson 1988.

1.4 FACTORES QUE INCIDEN EN LOS PROCESOS DE DIGESTIÓN MICROBIANA DE LOS FORRAJES

Los forrajes, tanto los tropicales como los de clima templado, difieren entre sí en la estructura y composición de su pared celular, dependiendo de su especie vegetal, parte anatómica y fase de desarrollo. En el mismo sentido, la estructura de la pared celular vegetal es muy compleja y variable, tanto química como histológicamente. Todas estas diferencias condicionan el modo de ataque microbiano a los polisacáridos estructurales, y en último término, el ritmo y extensión de la degradación por los microorganismos ruminales. De hecho, el ritmo de digestión de la celulosa de los forrajes por la población ruminal es muy inferior a la observada *in vitro* sobre celulosa purificada LASCANO 1981.

Mientras el floema y el mesófilo de las hojas, el parénquima de los tallos de gramíneas y leguminosas inmaduras, y el floema de las gramíneas inmaduras, se degradan rápidamente, en algunos casos en menos de 12 horas de incubación, otros tejidos vegetales presentan resistencia a la degradación. Los residuos de degradación microbiana de hojas incluyen una elevada proporción de esclerénquima y xilema, y los de tallos de xilema, en caso de las leguminosas, y de epidermis, esclerénquima y xilema en gramíneas. Como indican Akin, DyRigsby, L(1985) citado por Lasacano 1986, el mesófilo es rápidamente degradado por las bacterias ruminales sin precisar adhesión, mediante una acción enzimática extracelular, mientras que la epidermis y las vainas de los paquetes parenquimatosos precisan una íntima adhesión de las principales especies fibrolíticas. La resistencia de estos tejidos a su degradación se debe tanto a su estructura anatómica como a su composición química.

La lignificación de la planta es uno de los factores que más afecta a la degradación microbiana de los forrajes, tanto por su indigestibilidad per se como en cuanto a su relación con las cadenas de hemicelulosas. El carácter hidrofóbico de la lignina acentúa el proceso de deshidratación de la pared celular a medida que aumenta la edad de la planta, lo que disminuye la accesibilidad de los polisacáridos estructurales. Además, una considerable proporción de las unidades de arabinosa de las cadenas laterales de xilanos están esterificadas con ácidos p-cumárico y ferúlico [en paja de cebada, 2,9 y 6,7 %, respectivamente, que establecen enlaces con las cadenas de lignina. Aunque estos compuestos fenólicos, especialmente el ácido p-cumárico, son tóxicos para la población microbiana ruminal su concentración en el contenido rumen es probablemente insuficiente para generar este efecto. No obstante, su solubilización a partir de las paredes celulares pudiera provocar en las zonas de activa degradación una concentración de fenoles próxima a los niveles tóxicos, por lo que pueden inhibir, o al menos relentizar, la actividad fibrolítica bacteriana Fondevila 1998.

1.4.1 Fermentación ruminal

El rumen es una cámara de fermentación anaeróbica. La población microbiana se mantiene al ingerir y masticar alimentos con regularidad, añadiendo tampones y eliminando los ácidos producidos, arrastrando los residuos alimenticios no digeribles y los productos microbianos, y manteniendo unas condiciones apropiadas de pH, temperatura y humedad para el crecimiento microbiano. Estos microorganismos dependen del rumiante para disponer de las condiciones óptimas para su crecimiento, y el rumiante depende de los productos de fermentación anaeróbica del alimento fibroso que ingiere y de la actividad biosintética microbiana, para cubrir sus propias necesidades nutritivas Fondevila 1998.

. El metabolismo del rumiante está enfocado a aprovechar los productos de la fermentación microbiana como los ácidos grasos volátiles (AGV), sin embargo, no todos los productos de la fermentación microbiana son útiles para el rumiante,

también los hay de inútiles como el metano, o incluso nocivos como el amoniaco y los nitratos Castellanos , Llamas & Shimada 1990.

1.4.2 Poblaciones ruminales

La mayoría de microorganismos presentes en el rumen funcional son anaeróbicos estrictos, y estos pueden ser bacterias, protozoos u hongos. El número relativo de las diferentes especies dependerá de la composición y estructura de la dieta, así como de las múltiples interacciones entre ellos Castellanos, Llamas & Shimada 1990.

1.4.3 Bacterias

En el rumen se encuentran entre 10^{10} y 10^{11} bacterias/g de contenido ruminal. Estas bacterias se pueden agrupar en 32 géneros y 63 especies, de las cuales 16 géneros y 28 especies se consideran funcionalmente importantes en términos de número y metabolismo. Son el grupo de microorganismos más abundante, representan aproximadamente la mitad de la biomasa ruminal y una mayor proporción de la actividad metabólica ruminal, que está inversamente relacionada con el tamaño del microorganismo Bryant 1981.

Las bacterias se pueden clasificar en función del substrato que utilizan, de los productos formados o de sus requerimientos nutricionales. En función de su principal substrato de fermentación, se pueden clasificar en microorganismos que degradan celulosa, hemicelulosa, almidón, azúcares, ácidos intermedios, proteína, pectina o lípidos. En una clasificación más extensa, se puede incluir el grupo de bacterias productoras de metano, de amoniaco y bacterias con actividad ureasa

Esta clasificación no es absoluta, debido a que las bacterias se pueden

especializar mucho, poco o nada en cuanto al tipo de sustrato que fermentan y la mayoría de ellas tienen la capacidad de degradar varios sustratos. Por ejemplo, la actividad proteolítica se ha descrito en el 38% de las bacterias ruminales, por lo que bacterias pertenecientes a otros grupos, pueden degradar la proteína Bryant 1981. Al haber especies que se superponen en la utilización de un determinado sustrato, aumenta la eficacia de utilización de dicho sustrato y al ser ésta una población diversa, la fermentación será más estable, evitándose grandes fluctuaciones en las cantidades y proporciones de los productos finales formados.

Otra clasificación bacteriana, es la que se hace en función de la fase física a la que se encuentran asociadas dentro del rumen. Aproximadamente el 75% de las bacterias se encuentran asociadas a las partículas de alimento y son las responsables, en mayor parte, de la degradación ruminal del alimento Bryant 1981; un segundo grupo bacteriano más inespecífico, se encuentra asociado a la fase líquida y está formado por las bacterias que se han soltado de las partículas y poblaciones con altos ritmos de división que subsisten a partir de nutrientes solubles en el líquido ruminal. Finalmente, un tercer grupo de bacterias anaeróbicas facultativas adheridas al epitelio ruminal. Estas bacterias asociadas al epitelio ruminal consumen rápidamente el oxígeno que entra con el alimento y el agua, y están especializadas en degradar las células epiteliales sin intervenir activamente en la degradación del sustrato. También tienen gran actividad proteasa y ureasa, mediante la cual intervienen en el reciclaje de urea proveniente del torrente sanguíneo.

1.4.4 Protozoos

Los protozoos constituyen el grupo microbiano con el papel más controvertido en el rumen. El número de protozoos es de 10^5 - 10^6 células/ml de contenido ruminal, siendo la mayoría especies ciliadas. Se pueden clasificar en dos subclases, *Entodiniomorfa*, y *Holotrica*, Coleman 1980. Los protozoos pueden no estar

presentes en el rumen o llegar a representar el 2% del peso del contenido ruminal, el 40% del nitrógeno microbiano total y proporcionar el 60% de los productos de fermentación microbiana. Sin embargo, su contribución al flujo duodenal es mínima debido a tiempos de Generación lentos y a una alta retención ruminal mediante su adhesión a las partículas de alimento o, en el caso de los holotricos, a la pared reticular durante los intervalos entre comidas Coleman 1980.

Aunque los protozoos constituyen una parte integral de la población microbiana y tienen un papel importante en la fermentación, su beneficio para los rumiantes sigue siendo controvertido. Algunos estudios han demostrado que los protozoos aumentan la digestibilidad ruminal y el rendimiento de los animales, mientras que otros estudios no han observado ninguna diferencia entre animales defaunados y faunados. Ante esta aparente contradicción, otros autores han atribuido a los protozoos una función de estabilización de la fermentación, controlando el nivel de nutrientes y asegurando una fermentación más uniforme durante los periodos entre comidas, evitando así grandes fluctuaciones de Ph Coleman 1980.

1.4.5 Hongos

Se descubrió su presencia en el rumen en los años 70. Anteriormente la fase móvil o zoosporo era confundida con un protozoo flagelado y la fase vegetativa o esporangio, siempre adherida a las partículas de fibra, no era identificada al estudiar el filtrado de líquido ruminal. Los géneros más frecuentes en el rumen son *Neocallimastix*, *Caecomyces*, *Pyromyces* y *Orpinomyces* (Van Soest, 1967).

El hecho de que los hongos no predominen en el rumen se debe a su lento tiempo de generación en comparación con las bacterias, 6-9 vs. 0,5-3,5h, y su paso a duodeno, aunque no ha sido estimado, también debe ser muy bajo. En dietas forrajeras pueden representar el 8% de la masa microbiana, pero sus números se reducen en dietas ricas en concentrado o en forrajes de alta calidad con

tiempos de retención más cortos. Tienen actividad celulasa y hemicelulasa pero no pueden degradar la pectina y el ácido poligalacturónico. No hay evidencia de que degraden la lignina, pero sus rizoides la pueden penetrar y facilitar la degradación de la pared celular (Van Soest, 1994).

1.4.6 Interrelaciones entre los microorganismos

Las poblaciones microbianas descritas anteriormente interactúan en el ecosistema ruminal para maximizar la eficiencia de fermentación del alimento (Van Soest 1994). Desde el punto de vista de la nutrición microbiana, pueden establecerse dos grupos de microorganismos: los que fermentan los alimentos y los que fermentan los productos de fermentación producidos por los primeros. Esta segunda población tiene una función básica eliminándolos productos finales de la fermentación del primer grupo y proporcionándoles factores esenciales para su crecimiento. Es por eso que en cultivos puros se descubren muchos productos finales que no se detectan en cultivos mixtos de microorganismos ruminales. Un ejemplo de estas relaciones son los ácidos grasos volátiles de cadena ramificada (AGVR), que son producidos por las especies amilolíticas y son esenciales para las celulolíticas para la síntesis de aminoácidos o para la producción de ácidos grasos de cadena larga.

1.5 EFECTO DE LA DIETA SOBRE LAS POBLACIONES MICROBIANAS

La dieta es el factor más determinante sobre el tipo y las proporciones de poblaciones microbianas, por lo que determina el perfil de fermentación ruminal (Yokohama & Johnson, 1988). Las diferencias son máximas entre dietas forrajeras y dietas ricas en concentrado. Las dietas forrajeras favorecen el establecimiento de una flora fibrolítica, donde predominan bacterias del género *Butyrivibriospp.* Mientras que en dietas concentradas con bajos niveles de fibra, la concentración bacteriana es mayor, con poblaciones amilolíticas donde predominan bacterias del tipo elenomonas, peptostreptococci y lactobacilli. Estas

dietas suelen tener altas velocidades de digestión y de producción de ácidos, por lo que el medio se acidifica y se reducen las poblaciones celulolíticas y metanogénicas que son más sensibles al pH ácido (Van Soest, 1982).

Ante un cambio de dieta, la población tiene que adaptarse hacia un nuevo equilibrio. El mayor riesgo se produce al introducir grandes cantidades de concentrado en animales que reciben una dieta forrajera, por su efecto sobre las bacterias que producen y utilizan lactato. En un primer momento, por efecto de un descenso en el pH, desaparecen las bacterias utilizadoras de lactato y las amilolíticas son sustituidas por otras bacterias productoras de lactato, llevando a un descenso de Ph más grave, y una acidosis láctica. Pero al adaptarse, las poblaciones formadoras de lactato y las utilizadoras se equilibran y prácticamente no se detecta ácido láctico en el contenido ruminal Mendoza & Stock. 1993.

1.5.1 Efecto de los protozoarios sobre la degradación de la pared celular y sus interacciones con los componentes de la dieta

La fermentación es el último paso en la digestión de los carbohidratos, la cual provee de ATP a los microorganismos, este paso también es esencial para producir AGV para el metabolismo energético de los animales (Hsu et al, 1991)

La acción positiva de los protozoarios sobre la digestión de la pared celular es posiblemente debido a su actividad hidrolítica sobre la hemiculosa para separar la lignina de algunos de los carbohidratos potencialmente degradables en rumen, permitiendo que estos estén más expuestos a la acción las enzimas microbiales.

Es conocido que los protozoarios ciliados *Entodinium* contienen un rango de enzimas que son activas sobre los carbohidratos estructurales de las plantas, en tanto que la habilidad de *Holotricha* para degradar los carbohidratos de la pared celular de las plantas es mucho más limitada (Jouany et al,1993).

Así mismo se ha observado que la digestión de lignocelulosa por los protozoarios es mejorada cuando la dieta es suplementada con almidón. Esto sugiere que hay

interacciones entre el almidón de la dieta, la presencia de protozoarios y la digestión de los componentes de la pared celular. De modo que la substitución de 20% de paja de maíz por NH₃ en una dieta basada en paja tratada incrementó el efecto positivo de los protozoarios sobre la digestión de la lignocelulosa (+ 114 y +129 % vs +20 y + 4 % respectivamente para digestibilidades en rumen de hemicelulosa y celulosa)

Sin embargo, los protozoarios también pueden tener efectos negativos sobre la celulolisis en el rumen, ya que la composición cualitativa de la fauna, la cual está mayormente influenciada por la dieta, puede también modular la acción de los protozoarios, así la población de protozoarios puede variar según las necesidades nutricionales y dietas de los animales. (Jouany et al 1993)

1.5.2 Efectos de la defaunación sobre la producción de AGV

Una característica distintiva de los rumiantes es que tienen la capacidad de utilizar ácidos grasos volátiles como fuente de energía en lugar de la glucosa. Así, los compuestos en cuestión se ha calculado que proveen cerca del 57% de la energía digestible y el 70% de la energía metabolizable requerida por los rumiantes, de ahí la importancia de conocer los efectos de la defaunación sobre la producción de AGV.

El cambio en la proporción de los ácidos grasos volátiles prodría ser importante en dos perspectivas, donde la presencia o ausencia de los protozoarios es asociada con el gran cambio en la tasa de acetato, butirato y propionato. Podría ser significativo en los cambios en la formación de metano y en la síntesis de grasa en la leche NAGARAJA (1992) realizó un trabajo con protozoarios ciliados y encontró que el total de AGV producidos fue mayor en novillos libres de ciliados pero no hubo cambio en el grupo faunado.

El promedio de la concentración de propionato fue mayor en el grupo de novillos libre de ciliados comparado con el grupo faunado (27.2 VS 12.2 mm). La concentración de butirato e isovalerato fue similar en ambos grupos, sin embargo la concentración de burtirato se incrementó a las 4 y 6 horas posteriores a la alimentación en el grupo libre de ciliados, pero no hubo cambio en el grupo faunado.

En estudios similares Mendoza encontró que la defaunación incrementó la concentración de AGV; pero redujo la proporción molar de acetato ($p < .007$); incrementó la producción normal de propionato y redujo escasamente la producción de butirato e isovalerato e incrementó la proporción molar de valerato. Cunningham 1997 manifesto que la defaunación no tuvo efecto en el pH ruminal, en la concentración total de los AGV, las proporciones molares de ácido acético y ácidos de cadena larga; e incrementó la proporción molar de ácido propiónico y el correspondiente descenso de acetato en el periodo de defaunación, fue más evidente en el período de refaunación. En contraste al ascenso de ácido propiónico la producción molar de ácido butírico fue reducida por la defaunación pero recobrada después de la refaunación.

Tabla 1. Producción de Ácidos Grasos Volátiles en animales faunados y defaunados.

Producción de AGV mm		
	Faunados	Defaunados
Mendoza, 1993	118.5	139.2
Hsu, 1991	80.4	75.5
Nagaraja, 1992	64.5	92.3
Koenig, 2000	88.9	101.9
Grummer, 1983	124	154
Veira, 1983	92.5	105.7

Fuente: Nagaraja 1992.

1.5.3 Efectos de la defaunación sobre el pH ruminal

Algunos estudios han sugerido que los protozoarios tienen un papel benéfico en la estabilización del pH ruminal en dietas altas en concentrado y en la reducción de la tasa de fermentación ruminal del almidón ya que cuando hay exceso de almidón o azúcares solubles, los protozoarios asimilan éstos y los incorporan a polisacáridos de reserva intracelulares previniendo de esta forma una acidosis láctica (Mendoza, et al. 1993)

Cuando hay una variación en la dieta de los animales faunados y libres de ciliados, se ha observado que el pH del contenido del rumen es bajo en los animales libres de ciliados. La gran ausencia de lactato exógeno y los bajos niveles endógenos producen lactato ruminal en los faunados, comparándolos con los libres de ciliados creando un importante papel de los protozoarios en la regulación ruminal del metabolismo de lactato. Los efectos estables de los protozoarios son un factor importante en la adaptación del ecosistema ruminal cuando los granos son sustituidos por forrajes y en la prevención de acidosis.

El tratamiento de defaunación ocasiona una reducción del pH del rumen y un incremento en la concentración de bacterias en el fluido del ruminal (Machmuler, 2003). Esto es consistente con los resultados de otros experimentos donde se llevó a cabo la defaunación. Nagaraja (1992) realizó un trabajo con novillos y encontró que el valor de pH ruminal, descendió en ambos grupos de novillos; faunados y defaunados después de ser alimentados, sin embargo en promedio el pH ruminal bajó más en los novillos sin protozoarios ciliados que en los novillos faunados (5.97 y 6.45 respectivamente). Este descenso de pH está relacionado con el total de AGV producidos y no con la concentración de lactato.

Tabla 2. Efectos de la defaunación sobre el pH ruminal

pH Ruminal		
Mendoza, 1993	Faunados	Defaunados

Koenig, 2000	5.52	5.38
Hsu, 1991	6.29	6.23
Grummer, 1983	6.3	6.2
Ankrah, 1990	6.0	5.8
Horas Postalimentación		
Ankrah, 1990		
3	5.81	5.47
6	5.81	5.50
9	6.05	5.68
12	6.09	5.81
24	6.81	6.61
Horas Postalimentación		
Nagaraja, 1992		
0	6.7	6.3
1	6.45	5.97
2	6.3	5.8
4	6.37	5.6
6	6.4	5.9
8	6.5	6.0
12	6.67	6.3

Machmuler 2003.

1.5.4 Efectos de la defaunación sobre la producción de NH₃

En comparación con los animales libres de ciliados y los faunados existe una observación común de mayores concentraciones de amoníaco en el rumen en los animales faunados que en los libres de ciliados. Esto probablemente debido a un alto reciclaje de la proteína en el rumen, poca actividad de las bacterias en la utilización de amoníaco y un incremento de proteína en la dieta. Cuando las dietas son bajas en proteína, las concentraciones ruminales de amoníaco son bajas en

animales libre de ciliados teniendo una reducción en la digestión y un aumento en la síntesis de proteína microbial Machmuler 2003.

Comparaciones de varias dietas indican que el flujo de amoníaco para el rumen está relacionado con el consumo de nitrógeno o el consumo de materia seca, donde son generalmente altos para los animales libres de ciliados así como los animales faunados.

El incremento de amoníaco en el rumen tiene un efecto positivo en la síntesis de proteína microbial y en la disminución en la degradación de la proteína de la dieta.

El efecto de los protozoarios sobre la digestión de nitrógeno es comparado con el efecto de los mismos sobre la digestión de materia orgánica con grandes depresiones en la digestibilidad en animales libres de ciliados. Estos resultados tienen un incremento en las concentraciones de nitrógeno en las heces en los animales libres de ciliados. El incremento del nitrógeno fecal es probablemente incrementado por la síntesis microbial de nitrógeno interviniendo en la digestibilidad del rumen y en los intestinos y en un incremento en las células bacteriales. La naturaleza de los productos finales de la digestión podría ser considerablemente alterada por la fermentación. Las proporciones de energía producida en los productos finales, los ácidos grasos volátiles tienen cambios con la presencia o ausencia de protozoarios. En general la proporción molar de acetato es ligeramente afectada como tampoco con el propionato y el butirato, aunque estos tienen una tendencia a disminuir en el rumen en los animales libres de ciliados. La ausencia de protozoarios esta solamente asociada con el incremento de propionato y la disminución de butirato Machmuler 2003.

La función de la digestión del almidón en el rumen y en el intestino delgado en animales defaunados podría resultar en una alta eficiencia de utilización de energía producida por la capacidad del intestino delgado a digerir el almidón.

El incremento de la proteína utilizable en los rumiantes libres de ciliados podría tener un incremento benéfico en los requerimientos de aminoácidos. Para lograr

un alto crecimiento en los animales libres de ciliados se debe alimentar con dietas altamente energéticas con bajos niveles de proteína no degradable, pero con un adecuado nitrógeno degradable.

En adición a esto, los animales que consumen dietas con energía mediana y probablemente libres de ciliados tienen una reducción en la digestión de energía.

El número de protozoarios en el rumen depende del tipo de dieta, en número depende también si se alimenta con dietas bajas en forraje o mezclas de forrajes y granos. Dietas altas en concentrados, los protozoarios tienen un número mayor que en dietas sin concentrados.

La defaunación disminuye la concentración de NH_3 como resultado de una menor desaminación durante la degradación de la proteína así como de un mayor aprovechamiento de este por la población bacteriana y un menor reciclaje de proteína microbiana.

Los protozoarios son promotores de la formación de NH_3 lo que es una desventaja para el metabolismo del N. Sin embargo su presencia puede ser benéfica en animales alimentados con dietas ricas en energía y N soluble.

Mendoza y Nagaraja encontraron que el nitrógeno amoniacal tuvo tendencia a elevarse con la presencia de protozoarios en el rumen.

Tabla 3. Efectos de la defaunación sobre la producción de NH_3

Concentración NH_3 (mM)		
Novillos	Faunados	Defaunados
Mendoza, 1993	21.17	15.15
Nagaraja, 1992	12.2	9.1
Mendoza, 1993	21.17	15.15
Hsu, 1991	23.5	15.4

Fuente: Machmuler 2003

La menor concentración de amoníaco en animales defaunados podría ser debido a menor sustrato por reducción de la proteólisis por desaminación y mayor uso del amoníaco por las bacterias ruminales.

En el metabolismo del nitrógeno, la defaunación está asociada con una reducción del flujo de amoníaco 1.13g/g de nitrógeno consumido y 2.07g/100g de materia seca consumida.

Tabla 4. Efecto de la defaunación en los aminoácidos esenciales

	Completa	Parcial	Faunado
NITROGENO			
Consumo	12.5	15.6	13.8
Desaparición en el Estomago %	44	35.7	21.9
AMINOACIDOS			
Treonina	0.651	0.625	0.541
Valina	0.821	0.777	0.665
Metionina	0.207	0.165	0.163
Isoleucina	0.727	0.595	0.553
Leucina	1.223	1.043	0.938
Fenilalanina	0.628	0.579	0.517
Lisina	0.928	0.763	0.740
Histidina	0.286	0.270	0.230
Arginina	0.504	0.472	0.424
Total de aa esenciales	5.974	5.289	4.781

Fuente: Mendoza et al, 1993.

1.5.5 Efecto de la defaunación sobre la digestibilidad de la proteína

Numerosos tratados han comparado la digestión de la proteína en animales faunados y libres de ciliados. Los resultados han demostrado que los animales libres de ciliados reducen la concentración de amoníaco ruminal lo que sugiere que los protozoarios son activos en la proteólisis ya que es sabido que éstos poseen un grupo de enzimas útiles en el metabolismo de las proteínas.

La cantidad viable de proteína para la digestión intestinal es marcadamente incrementada por la defaunación. Si los protozoarios contribuyen al flujo de proteína hacia el rumen en la proporción de su masa, en la defaunación se podría esperar una alteración de la composición de los aminoácidos en la digestión duodenal. De cualquier forma no se han encontrado diferencias en la composición de los aminoácidos en la digestión duodenal en los animales libres de ciliados y faunados.

Es probablemente cuando las dietas contienen bajos niveles de nitrógeno o la degradación de nitrógeno ruminal podría ser disminuida y la digestibilidad reducida.

La depresión aparente en la digestión a través del intestino delgado en rumiantes libres de ciliados es similar en la depresión de la digestión ruminal aunque esta última es más baja. En general la depresión de la digestión en el rumen se ve más claramente en la ausencia de protozoarios, pero no completamente, compensándose por el incremento en la digestión ruminal. Dependiendo de la naturaleza del nutriente, este cambio en la digestión podría afectar el estado del rumiante.

Se ha identificado las vías metabólicas de lisina, arginina, treonina, triptofano y metionina como parte de las actividades de los protozoarios. De esas vías metabólicas, la descarboxilación del ácido diaminopimélico a lisina sería la más importante en la nutrición del rumiante si la lisina es limitante en la dieta, porque el ácido diaminopimélico, un componente de la pared celular bacteriana, no puede ser

utilizado por el huésped a menos que sea convertido a lisina por los protozoarios. Dündar, Yilmaz & Aslan 2004.

1.5.6 Efectos de la defaunación sobre la digestibilidad

Una consecuencia de la defaunación es el efecto positivo en la digestión del estómago. La aparente digestión de materia orgánica y almidón fue aumentada por la gran proporción de protozoarios ciliados.

La tasa de digestión del almidón se redujo en un 35 % y la digestibilidad del mismo en un 9% cuando los protozoarios estaban presentes (Mendoza et al, 1993)

No existe efecto de la defaunación sobre el flujo de N no microbiana en la digestibilidad del nitrógeno en el rumen, la eficacia microbiana fue mejorada por la ausencia de protozoarios.

El consumo de materia orgánica fue similar en todos los periodos, existió una tendencia a incrementarse el flujo de materia orgánica hacia el duodeno cuando los protozoarios fueron removidos.

El flujo de materia orgánica microbiana fue 68% más alto cuando los protozoarios estaban ausentes, sobre la refaunación regresaron los niveles encontrados en la fauna normal, la defaunación no afectó el flujo de MO no microbiana, pero en la refaunación tuvo una tendencia a reducir el flujo de MO no microbiana.

Koenig et al. (2000) citado por Dohme, dice que en la defaunación la digestibilidad de la MO en el rumen no es afectada pero la digestibilidad en el resto del tracto digestivo se encuentra reducida en un 8%. Generalmente, los resultados de otros estudios indican que hay una reducción en la digestibilidad en el rumen y en el resto del tracto digestivo.

El flujo de N en el duodeno no es afectado por la presencia o ausencia de protozoarios y tiene un promedio de 31 g N/ d ó 129% de consumo de nitrógeno. Aparentemente, la digestibilidad de nitrógeno ruminal podría no ser afectada por la

presencia o ausencia de protozoarios porque el cálculo del flujo de nitrógeno duodenal es más alto que el de nitrógeno ingerido.

Mendoza dice que en presencia de protozoarios la cantidad de almidón digerido en intestino delgado aumentó debido a una reducción de la fermentación ruminal. Animales defaunados tuvieron una digestión de 5.3% mientras que los animales con fauna tuvieron una digestión de 13.6%.

1.5.7 Efecto de la defaunación sobre la eficiencia alimentaria

El gran efecto de los protozoarios en la alimentación de los rumiantes podría ser nivelado por los efectos en el crecimiento y en el consumo de alimento. Para estas características, los protozoarios pueden tener un efecto positivo y negativo.

En un estudio realizado en 1990, Ankrah encontró que la defaunación no afectó la tasa de crecimiento de los corderos, en otros estudios sin embargo se ha observado hasta un 9% de incremento en la tasa de crecimiento en corderos como resultado de la defaunación y hasta un 43% de incremento en bovinos defaunados y alimentados con una fuente de proteína resistente a la degradación ruminal en comparación con bovinos faunados alimentados con la misma fuente proteica.

Tabla 5. Consumo de materia seca en corderos faunados y defaunados.

Consumo MS, g/d		
CORDEROS	Faunados	Defaunados
Ankrah, 1990	1.160	1.087
Mendoza,1993	773	792

Fuente: Ankrah 1990.

Los corderos defaunados tuvieron mayor ganancia de peso que los corderos faunados (Ankrah., et al.,1990).

1.5.8 Efecto de los forrajes arbóreos y arbustivos en la población microbiana ruminal

Los protozoos, bacterias y hongos existentes en el rumen-retículo son responsables de la digestión de la mayoría de los nutrientes, principalmente de los carbohidratos complejos de la pared celular de los vegetales. El tipo de dieta y el nivel energético de la ración influyen en la concentración y composición de la fauna ruminal a través de la acción directa o indirecta sobre el pH y la tasa de pasaje del contenido ruminal (Franzolyn et al, 1998).

Los forrajes, tanto tropicales como los de zonas templadas, difieren entre sí en la estructura y composición de su pared celular, dependiendo de la especie vegetal, parte anatómica y fase de desarrollo. Siendo la estructura de la pared celular vegetal muy compleja y variable, tanto química como histológicamente (Fondevilla, 1998). Existen grandes diferencias entre las gramíneas C3 (propias de zonas templadas) y C4 (propias de zonas tropicales), mientras que generalmente existen pocas diferencias entre las hojas de leguminosas de origen tropical o templado. Aunque las leguminosas son en general muy digestibles, algunos metabolitos secundarios, como los taninos, presentes en algunas especies pueden retrasar la digestión del mesófilo. Todas estas diferencias condicionan el modo de ataque microbiano a los polisacáridos estructurales, y en último término, el ritmo y extensión de la degradación por los microorganismos ruminales de los diferentes forrajes.

Los carbohidratos estructurales de la planta son los mayores contribuyentes a los requerimientos de energía del rumiante en dietas bajo pastoreo. Como resultado hay un considerable interés en optimizar la tasa y la cantidad de digestión de la fibra por la microflora ruminal (Weimer, 1998). La magnitud de estos procesos está mediatizada por la naturaleza de la pared celular vegetal, por las características de la población microbiana implicada en dichos procesos y por las condiciones del ambiente ruminal para favorecer o limitar estos procesos (Fondevilla, 1998), los

cuales se mejoran cuando las características nutricionales de la dieta son balanceadas en términos de nutrientes. Así, el incremento del aporte proteico en la dieta, ya sea de proteína degradable en rumen o sobrepasante, a través de forrajeras arbustivas y arbóreas, es una alternativa para mejorar los parámetros digestivos en dietas basadas en gramíneas tropicales.

Como ya se mencionó, algunos metabolitos secundarios tienen efectos adversos sobre las poblaciones microbianas, así Singh y Arora (1980), indican en una de sus investigaciones, que los taninos pueden tener efecto marcado sobre la digestibilidad de la celulosa debido a la depresión de la actividad microbiana, a través de efectos sobre la multiplicación microbiana o sobre la alteración de la estructura de la celulosa, evitando así la fijación de los microorganismos y por ende su proceso fermentativo. Otros trabajos reportados por este autor, señalan que el efecto inhibitorio de los taninos sobre la descomposición de la celulosa y la hemicelulosa se debe a la inactivación de las exoenzimas microbianas involucradas en el proceso de hidrólisis.

Los microorganismos ruminales pueden metabolizar compuestos naturales tóxicos y transformarlos en sustancias inocuas; de esta forma el rumen actúa como la primera barrera de defensa contra sustancias tóxicas. Por otra parte los microorganismos ruminales pueden convertir sustancias inocuas en tóxicas perjudiciales para el organismo. Existen además sustancias que ejercen efectos tóxicos en la población microbiana ruminal, provocando efectos negativos sobre la capacidad funcional del rumen (Roigé y Tapia, 1996). En el mismo sentido, Waterman et al (1980) señala que son muchas las plantas que poseen metabolitos secundarios que tienen efectos bactericidas o bacteriostáticos, actuando como inhibidores de la digestión en rumiantes.

La población microbiana ruminal tiene igualmente la capacidad de adaptarse en forma gradual a la ingestión prolongada de ciertos compuestos, lo que permite al animal adquirir mayor tolerancia a ciertos tóxicos tales como nitratos y nitritos,

oxalatos, glucósidos, etc. La microflora ruminal biotransforma diferentes compuestos, dando origen a sustancias intermedias o finales que son absorbidas por el tracto gastrointestinal o eliminadas a través de la materia fecal. El efecto que estos compuestos puedan ejercer sobre el propio rumen o el animal dependerá del tipo y cantidad de metabolitos producidos y de la absorción intestinal del compuesto original y de los metabolitos ruminales (Roigé y Tapia, 1996).

1.5.9 Efecto de las arbóreas y arbustivas sobre los parámetros fermentativos y la dinámica digestiva de los rumiantes

Según McAllister et al (1990) citados por Cheng et al (1991), para optimizar la tasa de digestión en los rumiantes, se deben acelerar los procesos en alimentos de baja calidad, y desacelerarlos en alimentos de rápida digestibilidad. Considerándose, bajo ciertas circunstancias dietarias, la manipulación de las poblaciones ruminales como una alternativa para mejorar las condiciones de la fermentación a nivel del rumen.

La concentración de AGV en el rumen está regulada por un balance entre la producción y la absorción, por lo tanto, tasas de producción muy altas, inducen una alta concentración (Van Soest, 1994). Las proporciones de acético, propiónico y butírico pueden ser fuertemente influenciadas por la dieta (Castellanos, et al, 1990). Puesto que sus tasas de producción varían durante el día, como consecuencia de las características de la dieta y sistemas de alimentación, las concentraciones y pH en el rumen también varían (Van Soest, 1994).

Van Soest (1994) señala que el consumo y la digestibilidad de los forrajes están directamente relacionados. Pero a pesar de su interdependencia, estos son parámetros que pueden ser independientes de la composición nutricional de los forrajes, debido a otros metabolitos secundarios que pueden afectarlos.

A nivel de campo la madurez de los forrajes y la especie forrajera son los principales factores que afectan la concentración de FDN (Fibra Detergente Neutra) del forraje y consecuentemente la digestibilidad. Normalmente a medida que los períodos de rotación disminuyen (menor madurez) los contenidos de fibra disminuyen y por tanto la digestibilidad aumenta (Fondevilla, 1998).

Se ha demostrado desde hace tiempo que el consumo de forrajes está inversamente relacionado con el tiempo de retención de la materia seca en el rumen. Diversos trabajos reportados por Lascano (1981) y Van Soest (1994) indican que el consumo a una misma digestibilidad es mayor en leguminosas que en gramíneas y aparentemente se ha asociado con un menor tiempo de retención de la leguminosa en el rumen. Lo anterior evidencia que el tiempo de retención en el rumen y por lo tanto el consumo voluntario están influenciados por diferencias en la estructura morfológica de componentes de una misma planta (hoja y tallo) y de especies (gramínea y leguminosa).

Los cambios en digestibilidad asociados con madurez son más drásticos en la mayoría de las gramíneas que en las leguminosas y no leguminosas arbustivas forrajeras. Además es conocido que existen diferencias en digestibilidad entre géneros de gramíneas o leguminosas cuando se comparan a una misma madurez. Sus cambios de nutrientes respecto a la madurez son marcados y no solo se reflejan en energía, sino también en el contenido de proteína (Van Soest, 1994; Lascano, 1981).

Provenza y Malechek (1984) señalan que los componentes químicos de los forrajes incluyen metabolitos primarios tales como el nitrógeno y los carbohidratos, y también secundarios como taninos, alcaloides, saponinas, glucósidos cianogénicos, etc. Ambos tipos de metabolitos vegetales influyen la productividad en los rumiantes por tener efectos sobre el consumo, la digestibilidad y la asimilación.

La proteína microbiana sintetizada en el rumen contribuye con un 40-90% de la proteína que ingresa al intestino delgado (Obispo, 1992). Diversas alternativas de suplementación a las gramíneas tradicionales, reportan cambios en las proporciones de proteína microbiana, orientando la proteína dietaria hacia su uso en intestino delgado. Es así como la proteína no degradable en rumen se considera una opción para mejorar el balance proteico para el animal. Giraldo et al (2004) reporta que la proteína no degradable en rumen (PNDR) puede ser incrementada mediante la suplementación con forrajes leguminosos arbóreos. En trabajos realizados y reportados por estos autores se ha evidenciado que el forraje de la *Acacia decurrens* (leguminosa arbórea) posee taninos (2% de polifenoles totales). Los resultados productivos de sus investigaciones reportan su gran potencial como suplementación proteica en la producción de leche, reemplazando parte del suplemento basado en concentrados, sin afectar la cantidad y la calidad de la leche. Su aporte proteico degradable en rumen y su fracción no degradable le confieren un amplio potencial forrajero como suplemento a las gramíneas tropicales.

1.6 EFECTOS DE LOS METABOLITOS SECUNDARIOS PRESENTES EN FORRAJES ARBÓREOS Y ARBUSTIVOS EN LA DINÁMICA DIGESTIVA DE LOS RUMIANTES

La diversidad bioquímica en plantas es enorme. Existen más de 1200 clases de compuestos químicos del metabolismo secundario de las plantas. Estos compuestos tienen funciones de almacenamiento, defensa o reproducción. Se han reportado cerca de 8000 polifenoles, 270 aminoácidos no proteicos, 32 cianógenos, 10.000 alcaloides y varias saponinas y esteroides (Rosales, 1999).

Aunque la lignina es el principal factor limitante de la digestibilidad, otros componentes vegetales involucrados en su autoprotección, también pueden limitar su valor nutritivo. Estos componentes representan un amplio rango de sustancias y pueden tener diversos efectos (Van Soest, 1994). A pesar de que la

mayoría de los compuestos que ingresan al rumen son metabolizados por los microorganismos ruminales y convertidos en nutrientes, existen otros compuestos que por acción directa o a través de sus metabolitos pueden ocasionar diversos efectos sobre la fermentación ruminal y la salud animal (Roigé y Tapia, 1996).

Se ha reportado que el valor nutritivo de los forrajes está determinado por su composición química. Pero el valor nutritivo per-se está influenciado por un gran número de factores que pueden afectar la eficiencia con la cual los rumiantes utilizan estos forrajes. Consecuentemente se ha reportado que el valor nutritivo depende no solo de la digestibilidad del forraje sino también del consumo voluntario. Este se ve influenciado por la palatabilidad, variación estacional y disponibilidad (Aregheore, 1999). Un aspecto que afecta consumo y digestibilidad de los componentes de los forrajes, y que es muy marcado en las especies leguminosas tropicales es la presencia de metabolitos secundarios. Aregheore (1999) y Padma y Samuthi (1993) señalan que una gran cantidad de leguminosas arbóreas y arbustivas tropicales contienen factores antinutricionales, tales como taninos, saponinas, fitatos, hemaglutininas, aminoácidos tóxicos (canavanina y mimosina), glucósidos cianogénicos, cumarina, flavonol, diversos tipos de fenoles e inhibidores de proteasas. Aregheore (1999) indica que la presencia de algunos de estos factores alteran sustancialmente la utilización de los nutrientes, la conversión alimenticia y por ende la productividad de los animales.

Leng y Nolan (1984) indican que el reciclaje de nitrógeno microbial en el rumen ocurre como resultado de la lisis y degradación tanto de bacterias y protozoos, así como de la ingestión de bacterias por parte de los protozoos. Estos autores han demostrado en sus estudios que los protozoos no alteran la rata de crecimiento bacterial, sino que ellos más bien decrecen la síntesis neta de células, ocasionando una deficiencia en el aporte neto de nitrógeno al duodeno. Pero a pesar del efecto positivo reportado con la defaunación sobre las poblaciones bacteriales, diversos autores señalan que la extensión de la digestión es significativamente reducida (Windham y Akin, 1984).

Veira (1986) citado por Van Soest (1994) indica que los resultados de la defaunación dependen del balance poblacional en el rumen y del tipo de dieta. Van Soest (1994) señala que la defaunación parece incrementar la producción microbial y la salida neta de proteína. Hristov et al (2001) señala que esto se debe no sólo a la disminución en la depredación bacterial sino al mayor sustrato disponible para el crecimiento bacterial. Si esto es benéfico, dependerá del balance energía–proteína, de los requerimientos del animal y si la proteína es limitante (Jouany y Ushida, 1990; Van Soest, 1994). Pero respecto a la digestión de carbohidratos estructurales y el uso de la energía hay diversas opiniones discrepantes frente a la defaunación (Jouany y Ushida, 1990). Muchas dietas bastas, de baja calidad, son limitantes en cuanto a la proteína neta verdadera, bajo estas condiciones la defaunación puede ser benéfica (Bird et al, 1990).

Cano et al (2001) mencionan que el forraje de *Enterolobium cyclocarpum* ha sido evaluado como un agente defaunador, al disminuir la población de protozoarios ruminales, mejorando la respuesta productiva de los bovinos, relacionada con aumentos en la degradación de carbohidratos estructurales y flujo de proteína microbial al duodeno. Esta actividad se atribuye a su contenido de saponinas, las cuales tienen un efecto citotóxico. Estos autores, mediante pruebas in vitro, determinaron que con niveles de saponinas de 1,2 g/L se encontró un efecto defaunador del 100% sobre los Holotrichos y 95% sobre los Entodinomorfos, con un aumento en la digestibilidad de la MS.

Navas et al (1992) indican que el efecto de *Enterolobium cyclocarpum* y *Sapindus saponaria* como defaunantes se debe a la presencia de sustancias detergentes, como las saponinas en sus hojas. Estos autores en estudios con ovejas encontraron una mayor disminución de protozoos (43% menos) en las que recibieron orejero (*Enterolobium cyclocarpum*) que las que no recibieron este forraje en su dieta.

Rosales et al (1989) señalan que el posible efecto de algunos árboles forrajeros como el Nacedero (*Trichantera gigantea*), Cachimbo (*Eritrina poeppigiana*) y Orejero (*Enterolobium cyclocarpum*,) como defaunadores en rumiantes se debe a la presencia de sustancias fenólicas en sus hojas. Al respecto existen muchas supuestos, pero pocos aspectos concretos, que basados en investigaciones conduzcan a la utilización de estas alternativas arbóreas, que se encuentran en abundancia en el trópico.

1.7 DEFAUNACION RUMINAL

La defaunación es una de las muchas formas de manipulación de la fermentación del rumen para mejorar la eficiencia y productividad de los rumiantes. No obstante, con este procedimiento se pueden obtener efectos benéficos sólo si consideran las diversas interacciones existentes en el ambiente ruminal.

En esta completa revisión, los autores analizan los diversos efectos de este procedimiento y las interacciones a tener en cuenta Coleman 1980.

1.7.1 Función de los protozoarios

La participación activa de los protozoarios ciliados en el proceso de la digestión ruminal ha sido observada en experimentos in vitro, así como sus enzimas para la digestión de complejos proteínicos y de carbohidratos. Concluyendo que en los cultivos mezclados el 34% del total de la digestión microbial de fibra podría ser atribuido a los protozoarios.

Así, los protozoarios efectúan cerca de un tercio del trabajo celulolítico en el rumen y hay indicios de que su presencia aumenta la actividad celulítica de las bacterias. En animales sin protozoarios hay menos fermentación de la materia orgánica, esto ocasiona una reducción en la degradación de proteínas a nivel ruminal, por lo que los niveles de amoníaco son menores y hay más proteínas de los alimentos para la digestión intestinal Jouany & Ushida 1990.

Sin una afectación directa y específica de los nutrientes, los protozoarios ciliados aparentemente juegan un papel importante en muchos aspectos del metabolismo ruminal relacionado con la salud del huésped. Una fracción de los protozoarios ciliados del contenido del rumen ha sido identificado, como más importante que la fracción bacteriana en relación con la reducción de nitritos y nitratos en el rumen y en la degradación de muchas micotoxinas. Esta detoxificación podría ser una ventaja en los rumiantes faunados cuando ingieren alimentos contaminados.

La única vitamina que tiene relación con los efectos de los protozoarios es la colina. Dietas con colina son rápidamente degradadas en el rumen, y la mejor fuente de absorción en el intestino delgado y su digestión en el mismo, es por los protozoarios fosfatidil colina.

La defaunación, virtualmente elimina las colonias que la podrían absorber, por eso es muy eficiente la conservación de colina, produciendo con la defaunación una deficiencia de esta vitamina.

Otros efectos asociados con la presencia de protozoarios en el rumen son neutrales en su efecto beneficiario para el huésped. Una excepción podría ocurrir en rumiantes alimentados con dietas deficientes en cobre, donde los protozoarios podrían agravar esta deficiencia. Esta situación podría rectificarse fácilmente con la suplementación de cobre. Jouany & Ushida 1990.

1.8 RELACIONES ECOLÓGICAS ENTRE LOS PROTOZOARIOS Y LA POBLACIÓN BACTERIANA (AMILOLÍTICA, CELULOLÍTICA, METANOGENICA)

Los protozoarios ingieren grandes números de bacterias y mantienen constante la cantidad de bacterias ruminales; de modo que la defaunación implica la desaparición de las relaciones ecológicas (predación, competición) que afectan

el tipo, distribución genérica y actividad metabólica de la población fúngica y bacterial del ecosistema ruminal.

Los protozoarios tienen un efecto negativo sobre las bacterias amilolíticas, debido a que protozoarios como Entodiniomorfo pueden ingerir grandes cantidades de gránulos de almidón, disminuyen la disponibilidad de almidón para las bacterias amilolíticas. La ingestión de almidón viene acompañada también por una depredación selectiva de las bacterias amilolíticas que se adhieren a los gránulos de almidón.

Algunos estudios han mostrado un incremento de las bacterias celulolíticas asociado con la defaunación en ovejas alimentadas con heno y concentrado. La disminución de las bacterias celulolíticas puede ser explicada por una depredación no selectiva por los protozoarios. Experimentos recientes confirman que el total de bacterias viables, amilolíticas, pectolíticas y celulolíticas se incrementó después de la defaunación del rumen. Las relaciones entre los protozoarios y las bacterias celulolíticas dependen de la naturaleza de la dieta (con o sin suplemento de concentrado) y del tipo de protozoarios presentes en el rumen.

En ciertas circunstancias los protozoarios pueden estimular el desarrollo de la flora celulolítica. Con dietas que contienen de 30-50% de almidón, la presencia de los protozoarios disminuye el número de bacterias celulolíticas; la población de protozoarios es mayor y la depredación y la competencia son mayores. Con este tipo de dietas la población de bacterias celulolíticas es menor que con dietas a base de forraje. Con dietas a base de celulosa, la población de protozoarios es más pequeña, y los efectos de depredación y competencia nutricional son correspondientemente reducidos.

Protozoarios largos tipo A como *P. Multivesiculatum*, actúan como predadores sobre las bacterias celulolíticas (*Butyrivibrio fibrisolvens*, *Ruminococcus flavefaciens*) más que de las bacterias amilolíticas

(*Selenomonas ruminantium*, *Streptococcus bovis*) o las especies acidófilas (*Megasphaera elsdenii*). Bajo las mismas condiciones, los protozoarios celulolíticos de la población tipo B (*Epidinium macaudatum*, *Eremopastron bovis*, *Eudiploninium maggi*), actúan como depredadores sobre las bacterias celulolíticas más lentamente. Entonces el tipo de fauna puede afectar el tamaño de la población de bacterias celulolíticas. Los protozoarios tipo A son posiblemente más antagonistas para las bacterias celulolíticas que los protozoarios tipo B.

Un grupo de bacterias metanogénicas ha sido encontrado sobre la superficie del protozoario entodiniomorfo, y su actividad está probablemente controlada por la concentración de hidrógeno en el líquido ruminal.

La densidad de metanógenos sobre la superficie de los protozoarios es reducida por un suplemento de hidrógeno exógeno, y es incrementada por un suplemento de nitrógeno. Esto sugiere que metanógenos se adhieren a los protozoarios para usar el hidrógeno estos producen vía la transferencia directa de hidrógeno, ya que la acumulación de hidrógeno puede afectar negativamente la actividad metabólica de los protozoarios. Jouany & Ushida 1990.

2. GLOSARIO

AGV - Ácidos grasos volátiles: Se forman en el rumen una vez que el bolo alimenticio llega y se descompone en él. Sin embargo, la proporción de formación de estos ácidos grasos varía con la dieta que se les suministre a los animales.

Tomado de: http://mundo-pecuario.com/tema65/carbohidratos_nutricion_animal/acidos_grasos_volatiles-405.html

Defaunación: La defaunación es una de las muchas formas de manipulación de la fermentación del rumen para mejorar la eficiencia y productividad de los

rumiantes. No obstante, con este procedimiento se pueden obtener efectos benéficos sólo si consideran las diversas interacciones existentes en el ambiente ruminal. En esta completa revisión, los autores analizan los diversos efectos de este procedimiento y las interacciones a tener en cuenta. Tomado de: <http://albeitar.portalveterinaria.com/noticia/3450/ARTICULOS-RUMIANTES-ARCHIVO/Efectos-de-la-defaunacion-sobre-la-fermentacion.html>

Digestibilidad: Es una forma de medir el aprovechamiento de una alimento, es decir, la facilidad con que es convertido en el aparato digestivo en sustancias útiles para la nutrición. Comprende dos procesos, la digestión que corresponde a la hidrólisis de las moléculas complejas de los alimentos, y la absorción de pequeñas moléculas (aminoácidos, ácidos grasos) en el intestino. Tomado de: <http://www.fao.org/docrep/field/003/ab482s/AB482S08.htm>

Fermentación: Es un proceso catabólico de oxidación incompleta, que no requiere oxígeno, siendo el producto final un compuesto orgánico. Estos productos finales son los que caracterizan los diversos tipos de fermentaciones.

Fue descubierta por Louis Pasteur, que la describió como *la vie sans l'air* (la vida sin el aire). La fermentación típica es llevada a cabo por las levaduras. También algunos metazoos y protistas son capaces de realizarla. Tomado de: <http://es.wikipedia.org/wiki/Fermentaci%C3%B3n>

Protozoarios: Son organismos microscópicos, unicelulares eucariotas; heterótrofos, fagótrofos, depredadores o detritívoros, a veces mixótrofos, (parcialmente autótrofos); que viven en ambientes húmedos o directamente en medios acuáticos, ya sean aguas saladas o aguas dulces; la reproducción puede ser asexual por bipartición y también sexual por isogametos o por conjugación intercambiando material genético. En este grupo encajan taxones muy diversos con una relación de parentesco remota, que se encuadran en muchos filos distintos del reino Protistas, definiendo un grupo parafilético, sin valor en la clasificación de acuerdo con los criterios actuales. Tomado de: <https://es.wikipedia.org/wiki/Protozoo>

3. CONCLUSIONES

La defaunación ruminal se ha convertido en un mecanismo importante en la nutrición bovina, luego de comprobarse que la variación de las poblaciones microbianas incide directamente en la eficiencia que estos hacen de los forrajes, se hace necesario emprender investigaciones haciendo mediciones de población ruminal con diferentes clases de alimentación para relacionar varios aspectos, entre ellos las ganancias de peso, conversión alimenticia.

Del documento monográfico se dio una clara explicación teórica de este aspecto y sobre resultados de investigaciones sobre este tema. La ganadería actual y la del

futuro que exige ser más competitiva; requiere de estrategias que coadyuven a la eficiencia y la defaunación es una de ellas.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ángeles Campos, S. C. 2002. Fermentación ruminal, tamaño de partícula y efecto de la fibra en la alimentación de vacas lecheras. Disponible en: <http://www.fmvz.unam.mx/bovinotecnia/BtRgZooG014.pdf> Consultado: Abril 2013

Ankrah, P. ., S. C. Loerch., K. A. Kampman and B. A. Dehority. 1990. Effects of defaunation on in situ dry matter and nitrogen disappearance in steers and growth of lambs. J. Anim. Sci. 68:3330.

Aregheore EM. 1999. Nutritive and antinutritive value of some tree legumes used in ruminant livestock nutrition in Pacific island countries. Journal of South Pacific Agriculture. 6 (2): 50-61.

Bryant, M.P_ (1981). Microbiología del Rumen. In: Fisiología de los Animales Domésticos. Dukes, H.H. y Swenson, M.J. Tomo I Ed. Aguilar, México.

Cano A, Calle J, Chamorro D, Buitrago S y Ovalle D. 2001. Caracterización química preliminar y determinación de la actividad antiprotozoaria de las saponinas en los frutos de *Enterolobium cyclocarpum* (Resumen). Rev Col Cienc Pec, 14, suplemento. Memorias VI Encuentro Nacional de Investigadores de las Ciencias Pecuarias –ENICIP- p 38.

Castellanos RA, Llamas LG y Shimada, S.A. 1990. Manual de técnicas de investigación en rumiología. México.

Cheng KJ, Forsberg CW, Minato H and Costerton JW. 1991. Microbial ecology and physiology of feed degradation within the rumen. In: Physiological ruminants. Seventh international symposium of ruminant physiology. Academic Press Inc.

Coleman, G.S. (1980). Rumen Ciliate Protozoa. Adv. Parasitol 18: 121-173

Cunningham, James G. Fisiología veterinaria. 2a ed. McGraw- Hill Interamericana. México 1997.

Delgado, Denia. 2006. Fisiología digestiva del rumiante. Curso: “Estrategias de alimentación para el ganado bovino en la sequía”. Instituto de Ciencia animal. La Habana. Cuba.

Dohme, F., A. Machmüller., B. L. Estermann., P. Pfister., A. Wasserfallen and M. Kreuzer. 2000. The role of the rumen ciliate protozoa for methane suppression caused by coconut oil. Letters in applied Microbiology. 29:187.

Dündar, Yilmaz and Aslan, A. E. 2004. Effects of defaunation and urea on glutathione and malondialdehyde levels in blood and ruminal fluid of ramliç lambs. Turk J. Vet. Anim. Sci. 28:265.

Franzolin R, Tiegui MH, DA Silva JR. 1998. Avaliação de população de protozoários ciliados no rúmen, retículo e omaso e do trato digestivo em búfalos alimentados em três níveis de energia. Rev Fac Agron (LUZ) 15(1): 58–63

Fondevilla M. 1998. Procesos implicados en la digestión microbiana de los forrajes de baja calidad. Rev. Fac. Agron. (LUZ) 15: 87-106. www.redpav-fpolar.info.ve/fagroluz/v15_1/v151z010.html

Galindo, Juana; Marrero, Yoandra; González, Niurca y Areadne Sosa. 2006. Libro en versión electrónica: Manipulación de la fermentación microbiana ruminal. Instituto de Ciencia Animal. La Habana. Cuba.

Giraldo LA, García W y López JC. 2004. Degradabilidad ruminal *in situ* del follaje de arbustivas tropicales y su potencial como fuente de proteína no degradable en rumen. En: Taninos en la nutrición de rumiantes en Colombia. Memorias de taller sobre taninos. CIAT-ETH. Ed. Hess HD y Gómez J. pp 39-42.

González Muñoz, S. S. 2002. Nutrición de rumiantes y utilización de forrajes. Disponible en: http://www.tamaulipas.gob.mx/sedeem/sectores/agrop_pesca/cursos_ganaderia/documentos%5CNutricionrumiantesForrajesSergio.pdf. En Línea: Septiembre 2002. Consultado: Agosto 2012.

Hristov AN, Ivan M, Rode LM and Mcallister TA. 2001. Fermentation characteristics and ruminal ciliate protozoal populations in cattle fed medium - or high concentrate barley-based diets. *J Anim Sci.* 79:515–524.

Hsu, J. T., G. C. Fahey, Jr., J. H. Clark., L. L. Berger and N. R. Merchen. 1991. Effects of urea and sodium bicarbonate supplementation of a high-fiber diet on nutrient digestion and ruminal characteristics of defaunated sheep. *J. Anim. Sci.* 69:1300.

Jouany JP and Ushida K. 1990. Protozoa and fibre digestion in the rumen. In: Hoshino S, Onodera R, Minato H, Itabashi H. The rumen ecosystem. The microbial metabolism and its regulation.. Proceeding of a satellite symposium of the 7th international symposium on ruminant physiology. Hakone, Japón. Pp 139-150

Jouany, J. P. and K. U shida. 1993. Plant cell- wall degradation by rumen protozoa. *Anim. Feed Sci. Technol.* 21:229-9.

Lascano C. 1981. Particularidades nutricionales de los rumiantes referentes a la regulación del consumo de forrajes. En: Primer Curso Panamericano sobre Producción de Ganado de Carne en Zonas Tropicales. Memorias COLVEZA. Medellín, Julio 29 a Agosto 1. Pp. 83-98

Leng RA and Nolan JV. 1984. Nitrogen metabolism in the rumen. J. Dairy Sci. 67: 1072- 1089

Machmüler, Andrea., Carla R. Soliva and Michael Kreuzer. 2003. Effect of coconut oil and defaunation treatment on methanogenesis in sheep. Reprod. Nutr. Dev. 43:41.

Martínez G., E. 2005. Bases fisiológicas y nutricionales de la unidad vaca – ternero. Cenerema. UACH.

Mendoza, G. D., R. A. Britton and R. A. Stock. 1993. Influence of ruminal protozoa on site and extent of starch digestion and ruminal fermentation. J. Anim. Sci. 71:1572.

Nagaraja, T. G., Gene Towne, and A. A. Beharka. 1992. Moderation of ruminal fermentation by ciliated protozoa in cattle fed a high-grain diet. Applied and Environmental Microbiology. 58:2410.

Nava Cuellar, Cuauhtémoc; Díaz Cruz, Antonio. 2001. Introducción a la digestión ruminal. Disponible en: <http://www.Produccionovina.com.ar/informacion-tecnica/>
En línea: Julio. Consultada: Agosto 2012.

Navas A, Laredo MA, Cuesta A, Anzola H and LEON J. 1992. Evaluation of *Enterolobium ciclocarpum* as dietary alternative to eliminate protozoa from the rumen. Livestock Research for rural development. 4 (1).

Owens, F. N.; a. I., Goetsch. 1986. Digesta passage and microbial protein synthesis. En: Control of digestion and metabolism in ruminants. L. P. Milligan, W. L.

Grovum y A. Dobson. Eds. Reston Book, Prentice- Hall, Englamood Cliffs, New Jersey. p 196 – 226.

Obispo N. Los hongos anaeróbicos del rumen. 1992. CENIAP – Instituto de Investigaciones Zootécnicas. Maracay, Venezuela. Rev Zoot Trop 10(1):91-107. <http://www.ceniap.gov.ve/bdigital/ztzoo./zt1001/texto/bibliografica.htm>

Padma B and Sumathi S. 1993. Effect of chemical treatments on tannins and *in vitro* protein digestibility of pigeonpea (*Cajanus cajan*) and common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Legume Research, 16 (1): 1-7.

Provenza FD y Malechek JC. 1984. Diet selection by domestic goats in relation to blackbrush twig chemistry. Journal of Applied Ecology. 21: 831-841.

Redondo, P. A., 2003. Anatomía del aparato digestivo de un rumiante. Disponible en: <http://www.inea.uva.es>. En línea: abril. Consultado: Noviembre 2012.

Roigé MB y Tapia MO. 1996. Efecto de algunos tóxicos de origen vegetal y fúngico en el rumen. Arch. de Med. Vet. 28 (1): 5-16.

Rosales M *et al.* 1989. Uso de árboles forrajeros para el control de protozoarios ruminales. Livestock Research for Rural Development. 1(1): 79-85

Rosales M. 1999. Mezclas de forrajes: uso de la diversidad forrajera tropical en sistemas agroforestales. En: Agroforestería para la producción animal en America Latina. Conferencia electrónica. Ed. Sánchez M y Rosales M. FAO, Roma. Abril-Septiembre 1998. Pp. 201-213.

Rotger Cerdá, Aina. 2005. Fermentación ruminal, degradación proteica y sincronización energía - proteína en terneras en cebo intensivo. Barcelona. 208 h.

Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Producción animal) Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad de Barcelona. España

Ruiz, R. y Dearriba, J. 1987. Digestión ruminal de carbohidratos y absorción de AGV. En Bioquímica Nutricional. Tomo 1. MES, La Habana. Cuba.

Singh K y Arora P. 1980. Effect of salseed-meal tannins on protein sintesis, 35S incorporation and cellulose digestibility by rumen microbes *in vitro*. Indian J. Anim. Sci. 50 (10): 821-825.

Van Soest, P.J. y Wine, R.H. (1982)

Van Soest, P.J. y Vino, R.H. de 1967. Uso de detergentes en el análisis de alimentos fibrosos. IV Determinacion de la pared celular vegetal – mandantes. J. ASSOC, off. Anual, Chem, 50: 50 – 55.

Van Soest, P.J. Métodos de fibra dietética, detergente neutro, de fibra, y los polisacáridos sin almidón en relación con la alimentación animal. Journal of Dairy Ciencia, v. 74, n. 10. p. 3587 – 3597, 1994.

Van Soest PJ. Nutritional ecology of the ruminant. 1994. Second edition. Cornell University Press. 476 p.

Yokohama, M. T. ; K. A, Johnson. 1988. Microbiología del rumen e intestino. El rumiante, fisiología digestiva y nutrición. C. D. Church, Ed. Editorial Acribial. Zaragoza. España. P 137 – 158.

