

Efecto de la utilización de arbóreas y arbustivas forrajeras sobre la dinámica digestiva en bovinos

Juan Carlos Carmona Agudelo¹

Effect of use of tree and shrub forage on digestive dynamics in bovines

Resumen

Los sistemas de producción ganadero en el trópico se desarrollan básicamente, bajo pastoreo con monocultivos de gramíneas, generalmente con contenidos nutricionales de regular a baja calidad, principalmente por su alto contenido de fibra y bajos niveles de proteína. Frente a esta situación, se presentan los SSP (sistemas silvopastoriles) bajo pastoreo o corte y acarreo como una alternativa, que generalmente potencia la calidad total de la dieta, entre otros factores benéficos. El componente arbóreo y arbustivo, involucrado en estos sistemas, presentan amplios efectos en el marco nutricional de los bovinos. Sus efectos en el animal pueden ser variados, debido a la divergencia que se da en su composición, frente a las gramíneas. Esta diferencia se da, no solo a nivel de nutrientes primarios, sino también de metabolitos secundarios, también denominados FAN (factores antinutricionales). Tradicionalmente, algunos metabolitos han sido considerados factores antinutricionales, por sus efectos negativos sobre el proceso fermentativo a nivel ruminal o en general sobre el proceso digestivo en el tracto total. Pero los efectos dependen, en términos generales, del nivel de consumo. Considerando el espectro de las principales arbóreas y arbustivas tropicales (leguminosas y no leguminosas) con potencial en la alimentación de los bovinos, son diversos los metabolitos secundarios estudiados, taninos, saponinas, mimosina, glucósidos cianogénicos, fitoestrógenos, entre otros.

Palabras clave: Árboles forrajeros. Fermentación. Leguminosas. Metabolitos secundarios. Rumiantes.

Abstract

The cattle production systems in the tropic are developed, basically, under systems of pasturing with monocultures of grasses, generally with nutritional contents from mid to low quality, mainly because of their high content of fiber and low protein levels. As opposed to this situation it appears the SPS (silvopastoral systems) under pasturing or cuts and transportation as an alternative that generally empowers the total quality of the diet, among other beneficial factors. The arboreal and shrubs component involved in these systems presents ample effects in the nutritional framework of bovines. Their effects in the animal can be varied, due to the divergence that occurs in its composition, when compared to the grasses. This difference occurs, not only at the primary nutrients level, but also at that of secondary metabolites (also denominated ANF, or anti nutritional factors). Traditionally, some metabolites have been considered anti nutritional factors because of their negative effects on the fermentative process at a ruminal level or, in general, on the digestive process in the total tract. But the effects depend, in general terms, on the consumption level. Considering the spectrum of main arboreal and arbustives, the tropical ones (legumes and non legumes) with potential in the feeding of the bovines, there are diverse studied secondary metabolites, such as tannins, cyanogenic glycosides, phytotoestrogens, saponines and mimosine, among others.

Key words: Forage trees. Secondary metabolites. Ruminant fermentation. Legumes.

¹ Zootecnista Especialista en Producción Animal y Magister en Ciencias Animales. Actualmente es Jefe Programa Industrias Pecuarias. Corporación Universitaria Lasallista

Correspondencia: Juan Carlos Carmona Agudelo, E-mail: jucarmona@lasallista.edu.co

Fecha de recibo: 12/12/2006; fecha de aprobación: 12/06/2007

Introducción

Tradicionalmente los sistemas de producción bovina en el trópico, se han basado en pastoreo de gramíneas en monocultivo, ya sea con pasturas nativas o pastos mejorados, los cuales se caracterizan por tener un alto contenido de fibra y bajo aporte de proteína, principalmente en trópico bajo. Este esquema de producción se consideró por décadas como la forma ideal de obtener buenos resultados de la pastura y por ende de los animales que hacían uso de ella. Con el paso del tiempo nuevas tecnologías con una visión futurista-conservacionista han ido tomando fuerza entre técnicos y productores. Entre estas nuevas tecnologías se han ido afianzando los sistemas silvopastoriles (SSP), que como se discute actualmente con apoyo de múltiples resultados positivos, es una alternativa que considera de una forma estrecha la interrelación suelo-planta-animal, reportándose resultados productivos y económicos atractivos, además de los múltiples efectos benéficos para el entorno.

Diversas especies leguminosas y no leguminosas, de buena adaptación a las condiciones edafoclimáticas del trópico, se presentan como una alternativa de amplia potencialidad como suplemento y como componente de ecosistemas silvopastoriles, los cuales presentan muchos otros beneficios. Como suplemento, sus efectos se consideran de importancia desde el punto de vista nutricional *per se* y como un factor que favorece los parámetros fermentativos de la dieta total.

Esta revisión tiene como objetivo abordar los diferentes aspectos involucrados en la dinámica digestiva de forrajeras arbustivas y arbóreas en los rumiantes, y los efectos que se presentan debido al consumo de estos materiales. Se hace un marcado énfasis en la composición de nutrientes y metabolitos secundarios, principalmente en los taninos.

Características nutricionales relevantes de las arbóreas y arbustivas de uso potencial en la alimentación de los rumiantes

Son diversos los recursos forrajeros de este tipo, con potencialidad para la alimentación de los ru-

miantes. Dentro de este marco se encuentran muchas especies, siendo las leguminosas las de mayor uso y potencial en condiciones tropicales, aunque especies no leguminosas como la morera (*Morus alba*), el quiebrabarrigo (*Trichantera gigantea*) y el guásimo (*Guazuma ulmifolia*), entre otras, presentan un amplio potencial forrajero. Las leguminosas tropicales tienden a ser altas en proteína y más bajas en pared celular que las gramíneas tropicales. Igualmente más altas en pared celular y lignina que la mayoría de las leguminosas de zonas templadas¹.

Se han identificado una gran diversidad de especies con alto potencial forrajero en sistemas silvopastoriles, o como bancos de proteína en diferentes zonas y condiciones edafoclimáticas, tanto de especies leguminosas como no leguminosas²⁻⁵. Los análisis químicos permiten concluir que el forraje de arbóreas y arbustivas presenta contenidos de materia seca y de proteína cruda mayores que los pastos. Así por ejemplo, para algunas leguminosas de zonas de trópico bajo y medio, como *Gliricidia sepium* se reporta entre 20-35% de MS, 20-25% de proteína cruda, 16-23% de fibra. La *Erythrina poeppigiana* tiene valores similares (23-35% MS, 15-25% de proteína, fibra 16-38%). En *Leucaena leucocephala* se reportan 30% de MS, 25-28% de proteína cruda y 20% de fibra. Para algunas forrajeras no leguminosas, como la morera (*Morus alba*) se reportan valores de MS del 25%, proteína entre 15 y 28% y 15% de fibra; para el botón de oro (*Thitonia diversifolia*) MS 24-35%, proteína 15-28% y fibra 16-38%; en quiebrabarrigo (*Trichantera gigantea*) MS 20-27%, proteína 14-22% y fibra 16-18%.^{2,5,6} Estos valores son inferiores a los generalmente reportados para algunos pastos, frecuentemente utilizados en el trópico bajo, como el guinea (*Panicum maximum*) en cual reporta 19-23% de MS, 7-12% de proteína; en angleton (*Dichantium aristatum*) 23-29% MS, 6-10% proteína y 35-40% de fibra; en *Brachiaria humidicola* 32-38% MS, proteína 5-8% y 34-38% de fibra²⁻⁷.

El valor nutritivo de arbóreas y arbustivas varía en los diferentes componentes de la biomasa arbórea. Las hojas presentan mayores concentraciones de nutrientes que las ramas y los tallos, la variación también se ha relacionado con la edad y con la posición en el árbol, siendo las hojas jóvenes más ricas en proteínas que las vie-

jas y estas además presentan porcentajes de digestibilidad bajos, debido a las concentraciones mayores de lignina y posiblemente de factores antinutricionales como los taninos².

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 y nitrogenado 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 ruminal⁸.

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 histológicamente⁹. 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 en 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 ruminal¹⁰. 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 procesos⁹, 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 forrajes arbustivos y arbóreos, se considera una alternativa para mejorar los parámetros digestivos en dietas basadas en gramíneas tropicales.

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 tóxicos perjudiciales para el organismo. Existen además sustancias que ejercen efectos tóxicos en la población microbiana ruminal, provocando efectos negativos sobre la capacidad funcional del rumen¹¹. En el mismo sentido, Waterman *et al*¹² señala que son muchas las plantas que poseen metabolitos secundarios que tienen efectos bactericidas o bacteriostáticos, actuando como inhibidores de la digestión en rumiantes. Así, Singh y Arora¹³, 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 estos autores, 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.

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, entre otros. 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 ruminales¹¹.

Efectos generales de las arbóreas y arbustivas sobre la dinámica digestiva de los rumiantes

Según McAllister *et al* (1990) citados por Cheng *et al*⁴, 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.

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 concentración¹. Las proporciones de acético, propiónico y butírico pueden ser fuertemente influenciadas por la dieta¹⁵. Puesto que sus tasas de producción varían durante el día, como consecuencia de las características de la dieta y sistemas de alimentación, sus concentraciones y pH en el rumen también varían¹.

Van Soest¹ 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 afecta la concentración de FDN (Fibra Detergente Neutra) del forraje y consecuentemente la digestibilidad. 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 Lascano¹⁶ y Van Soest¹ 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^{1,16}.

La proteína microbiana sintetizada en el rumen contribuye con un 40-90% de la proteína que ingresa al intestino delgado¹⁷. 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*¹⁸ reporta que la proteína no degradable en rumen (PNDR) puede ser incrementada mediante la suplementación con forrajes leguminosos arbóreos. 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.

En un trabajo reportado por Ruiz y Febles¹⁹, los resultados de degradabilidad ruminal "*in situ*" del nitrógeno en leucaena vs Perú reportaron una degradabilidad efectiva baja (53,67%) con una constante de recambio ruminal de $K=0,044$. Algo similar se observó con el nitrógeno soluble y degradable. Estos valores de degradabilidad sugieren que por cada 100 gr de proteína en base seca consumible por el animal, solo se degradan en el rumen 53,6 gr con 46,4 gr de proteína no degradable en rumen, con mayores posibilidades de utilización posruminal. Esta circunstancia supone una contribución directa de la fracción proteica para el animal. Estos mismos autores reportan mejores niveles de hemoglobina

en sangre y de proteínas totales y fraccionadas, así como del nitrógeno alfa-amino en plasma, en toros alimentados con leucaena respecto a toros que no recibían esta suplementación.

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, detectándose hasta el momento más de 1200 clases de compuestos químicos de su metabolismo secundario. 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 esteroides²⁰.

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 efectos¹. 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 animal¹¹.

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 disponibilidad²¹. 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. Aregheore²¹ y Padma y Samuthi²² señalan que una gran cantidad de leguminosas arbóreas y arbustivas tropicales con

potencial forrajero 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, entre otros. Aregheore²¹ indica que la presencia de algunos de estos factores pueden alterar la utilización de los nutrientes, la conversión alimenticia y por ende la productividad de los animales.

Aregheore²¹, reporta cuatro grupos en los cuales se dividen los diferentes factores antinutricionales: a.) Factores que afectan la utilización de la proteína y deprimen la digestión (ej: taninos, saponinas). b.) Quelatantes (ej: oxalatos, fitatos, glucosinolatos,). c.) Antivitaminas (ej: vitamina A, vitamina E, vitamina D, dicumarol) d.) Otros tóxicos (ej: aminoácidos tóxicos -mimosina, canavanina-, nitratos).

Son talvez los taninos, los compuestos que revisten una mayor importancia en las leguminosas forrajeras en el trópico, no solo por su diversidad, concentración, sino también por sus múltiples efectos en la dinámica digestiva de los animales. Así, la literatura reporta un sinnúmero de publicaciones donde los efectos de la suplementación con forrajeras que tienen taninos, son de efectos variados. En muchos casos el efecto en el animal va a depender de la concentración en la planta y del nivel de suministro del forraje que los contiene, en la dieta del animal. Tieman²³ y Reed²⁴, señalan que muchas leguminosas contienen concentraciones variables de taninos condensados que pueden tener efectos benéficos, perjudiciales o hasta tóxicos para los rumiantes.

Los taninos son compuestos fenólicos de alto peso molecular que pueden formar complejos fuertes con proteínas y otras macromoléculas. La afinidad de los taninos por las proteínas varía dependiendo de sus características químicas y de las condiciones fisicoquímicas del sistema²⁴⁻²⁶. Se han dividido en dos grupos con base en su origen químico: hidrolizables y condensados. Los primeros son polímeros de ácidos fenólicos y los condensados son polímeros de falvan-3-ol que producen^{16,24}.

Lascano¹⁶ indica que los efectos negativos de los taninos condensados presentes en leguminosas

forrajeras han sido relacionados con su concentración en las hojas y tallos aprovechables de la planta y pueden, a su vez, variar con las especies, genotipos dentro de especies, madurez de la planta y factores del medio ambiente.

Reed²⁴ señala que las proantocianidinas, presentes en algunas leguminosas tropicales (ej.: algunas especies de *Acacia*), no son absorbidas pero pueden afectar la mucosa del tracto digestivo, disminuyendo la absorción de nutrientes (principalmente aminoácidos esenciales, tipo metionina y lisina).

Desde el punto de vista de su toxicidad, Aregheore²¹ indica que esta se puede presentar cuando el consumo de taninos es alto, llevando incluso al animal a estado comatoso y a la muerte. En casos severos se pueden presentar necrosis renal, pancreática y de piel, con poca evidencia de daño hepático.

Los complejos formados por los taninos son estables e insolubles a un pH entre 3 y 7, pero son liberados a un pH menor a 3 ó mayor a 8. Esta propiedad para ligar las proteínas a un pH neutro y liberarlas a valores de pH bajo, ha llevado a muchos investigadores a pensar que podría ser una herramienta útil para reducir la degradación de la proteína en el rumen, siendo posible así incrementar, el flujo y la absorción de N amoniacal y aminoácidos esenciales en el intestino delgado^{1,16,24,27-29}. Jackson y Barry²⁷ y Barahona *et al*²⁹ señalan que bajas concentraciones de taninos condensados pueden incrementar el nivel de aminoácidos azufrados que entran al torrente sanguíneo. Se ha sugerido que utilizando plantas forrajeras con niveles altos de taninos, mezcladas con especies altas en nitrógeno soluble, se mejora el uso del nitrógeno por los rumiantes, reduciendo la degradación de proteína soluble en rumen y diluyendo el efecto de los compuestos tóxicos. En este sentido se han desarrollado algunos trabajos, como los reportados por Rosales³⁰ en los cuales se utilizó *Cratylia argentea* (libre de taninos) y *Flemingia macropylla* (alta en tanino, 2,5%). Igualmente, Flores³¹ utilizando *Calliandra calothyrsus* (alta en taninos) y *Gliricidia sepium* (baja en taninos) reportó que la eficiencia de uso del N absorbido se incrementó significativamente a medida que se aumentó la cantidad de *C. calothyrsus*.

Barahona *et al*²² reportaron en un trabajo de investigación realizado con *Desmodium ovalifolium* y *Flemingia macrophylla* que cuando el nivel de taninos condensados, presentes en estas leguminosas, se reduce por diferentes métodos, se observa un incremento en la degradación de la proteína en el rumen y consecuentemente una disminución en el N que alcanza el duodeno. Además un incremento en el consumo y la digestibilidad de la fibra en ambas leguminosas.

Van Soest¹ señala que existe evidencia experimental la cual indica que las altas concentraciones de taninos condensados presentes en algunas leguminosas tropicales pueden tener efectos negativos en la digestibilidad de algunas fracciones en el alimento. Se reportan efectos negativos sobre la digestibilidad de la proteína y de los carbohidratos estructurales y solubles^{29,33}. Provenza *et al*³⁴. además señala que reducen la producción de subproductos energéticos de la fermentación microbiana, como los ácidos grasos volátiles (AGV).

Uno de los aspectos que afecta el consumo de estos forrajes altos en taninos es su unión a las proteínas presentes en la saliva, ocasionando el efecto de astringencia^{1,33}. También en su interacción con los componentes proteicos parecen tener efecto inhibitorio sobre activadores de algunas enzimas tanto aminolíticas como lipídicas y peptídicas^{1,35}. De otro lado, este autor señala que, parece que algunos taninos son inhibitorios de ciertos organismos celulolíticos, ocasionando efectos adversos tanto sobre la digestibilidad, como sobre el consumo de la dieta, como ya se mencionó.

Otro factor antinutricional que se asume de grandes efectos en la dinámica digestiva de los bovinos, bajo ciertos esquemas de producción tropical, es la mimosina, un alcaloide encontrado en *Leucaena leucocephala*, la cual es una leguminosa arbórea ampliamente distribuida en el trópico como forraje para los rumiantes¹. Esta especie forrajera es considerada como una de las leguminosas forrajeras de mayor palatabilidad y aporte de nutrientes, principalmente de proteína de buena calidad. Sin dejar de considerar su alto aporte energético, de calcio y de azufre, el cual es gran potenciador de las poblaciones ruminales (principalmente hongos y bacterias celulolíticas)²¹.

Gupta *et al*³⁶ reporta niveles altos de mimosina (2.3%) en *L. Leucocephala*, mientras que el mismo autor, reporta niveles normales en otras variedades de *Leucaena* entre 0,8 y 1,8%. Kudo *et al*³⁷ señala que a pesar de los altos niveles de mimosina en estos forrajes, su presencia en las heces es muy baja, debido a que tanto la mimosina como el DHP (metabolito producido a nivel ruminal, derivado de la mimosina) son rápidamente absorbidos. Pero su excreción urinaria es rápida, lo cual permite explicar porque los efectos tóxicos en los rumiantes no son tan frecuentes. Además Van Soest¹ indica que existen bacterias ruminales capaces de degradar y utilizar esta sustancia, cuando su concentración en la dieta total no es muy elevada.

Otro metabolito secundario presente en algunas arbóreas y arbustivas forrajeras tropicales son las saponinas, las cuales también tienen efectos marcados en la dinámica digestiva de los rumiantes. Estas normalmente se unen a azúcares conjugados de triterpenoides o esteroides^{21,35} formando espumas estables al entrar en contacto con el agua, confiriéndole potencialidad como factor timpánico²¹.

Las saponinas tienen un característico sabor amargo. Este aspecto, además de su efecto irritante a nivel de la boca y garganta le confieren una baja palatabilidad, lo cual redundaría en un bajo consumo voluntario²¹. Este mismo autor citando otros trabajos señala que, las saponinas inhiben la fermentación ruminal y la síntesis en el rumen. Además estas forman complejos insolubles con algunos minerales como Calcio, Hierro y Zinc, haciéndolos no disponibles para el animal. Van Soest¹, reporta que estas sustancias pueden tener efectos negativos sobre las bacterias celulolíticas, pero los rumiantes en pastoreo pueden adaptarse a ellas y detoxificarlas.

Los anteriores conceptos señalan a las saponinas como metabolitos secundarios generalmente con efectos negativos en la alimentación animal, pero diversos trabajos reportan sus bondades como sustancias defaunantes a nivel ruminal, o sea para disminuir la cantidad de protozoarios, obteniéndose importantes beneficios nutricionales³⁵. Cuando el rumen es defaunado, la degradabilidad de proteínas del alimento es más bajo que en el rumen sin defaunar, sobre todo cuando las fuentes de proteína insoluble predominan. Así, cuan-

do el rumen es defaunado puede esperarse que mayor cantidad de proteína escape de la digestión y fluya al intestino^{37,38}. Esto se considera un efecto positivo teniendo en cuenta, que frecuentemente en los sistemas de alimentación de nuestro medio, el suministro de proteína al intestino delgado es deficiente. El impacto positivo que esto pueda representar depende de la calidad de la proteína que escapa a la degradación ruminal, hacia al tracto posterior.

Leng y Nolan³⁹ 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 mostrado en sus estudios que los protozoos no alteran la tasa de crecimiento bacteriano, 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 bacterianas, diversos autores señalan que la extensión de la digestión es significativamente reducida⁴⁰. Así mismo, Kreuzer y Kirchgessner⁴¹ señalan que la defaunación tiene un impacto severo en la digestión de la materia orgánica, sobre todo en la fibra y el Nitrógeno ruminal.

Veira, citado por Van Soest¹ indica que los resultados de la defaunación dependen del balance poblacional en el rumen y del tipo de dieta. Van Soest¹ señala que la defaunación parece incrementar la producción microbiana y la salida neta de proteína. Hristov *et al*⁴² señala que esto se debe no sólo a la disminución en la depredación bacteriana sino al mayor sustrato disponible para el crecimiento bacteriano. Si esto es benéfico, dependerá del balance energía-proteína, de los requerimientos del animal y si la proteína es limitante^{1,43}. Pero respecto a la digestión de carbohidratos estructurales y el uso de la energía hay diversas opiniones discrepantes frente a la defaunación⁴³. Bird *et al*⁴⁴, indican que muchas dietas bastas, de baja calidad, típicas de sistemas de producción bovina en trópico bajo, son limitantes en cuanto a la proteína neta verdadera, y bajo estas condiciones la defaunación puede ser benéfica.

Cano *et al*⁴⁵ 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*⁶ 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. Igualmente, 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.

Aregheore²¹ señala que a pesar de la alta calidad nutricional de *Gliricidia sepium*, una de las leguminosas de más amplio uso en nuestros sistemas de producción bovina, se tienen dificultades en su uso debido en parte a su palatabilidad. Esta se ve afectada principalmente por la presencia de sustancias inhibitorias tales como la cumarina y flavonol. Igualmente se reportan taninos. Este mismo autor reporta que a pesar de estas características, después de un periodo de acostumbramiento de 4 a 6 semanas, el comportamiento productivo de los animales suplementados con *Gliricidia sepium* es adecuado. Lo que hace suponer su efecto benéfico sobre los parámetros fermentativos a nivel ruminal.

La cumarina es un metabolito perteneciente al grupo de los isoflavones, y se encuentra ampliamente distribuida entre las leguminosas. Este metabolito da origen al dicumarol durante su proceso fermentativo en rumiantes. El efecto hemorrágico que se atribuye al dicumarol y sus

derivados, se debe a su actividad específica antivitamina K¹. Al parecer su efecto antifúngico¹, puede tener efecto de forma indirecta sobre la degradación de los carbohidratos estructurales, por ende sobre el consumo voluntario de los forrajes. Pero como ya se señaló, sus efectos adversos en el animal dependen en gran medida de la concentración total en la dieta.

Van Soest¹ también señala que varios isoflavones pueden tener actividad estrogénica en animales en pastoreo. Estas sustancias pueden tener efectos negativos sobre la fertilidad de machos y hembras. Pero de otro lado, este autor indica que estas sustancias pueden ser responsables de una mayor eficiencia en el uso del alimento en ganado de carne y vacas lecheras.

El forraje (hojas) de yuca (*Manihot esculenta*) se presenta como una alternativa de amplio potencial para la alimentación de rumiantes por su alto contenido proteico. Sin embargo Reed *et al*³ indican que su alto contenido de glucósidos cianogénicos pueden limitar su consumo, además la digestibilidad de la proteína y la disponibilidad de la metionina se disminuye. Los glucósidos cianogénicos son derivados de azúcares y liberan al hidrolizarse, ácido cianhídrico (HCN)³⁵. Específicamente, estos glucósidos cianogénicos a nivel ruminal, por acción de una α glucosidasa de origen microbial, liberan la aglicona (a hidroxinitrilo), la cual se transforma, vía enzimática, en ácido cianhídrico, que es absorbido rápidamente, dando origen a los efectos tóxicos.

En ausencia de hidrólisis, los glucósidos son relativamente inocuos ya que pueden ser excretados como tal¹¹. Pero Van Soest¹ señala que a pesar de su potencial tóxico, es poco el efecto que se da en bacterias anaeróbicas del rumen, las cuales pueden utilizarlo incluso como fuentes de N. Además este autor indica que el solo secado al sol reduce estas sustancias. Preston *et al*⁷ en estudios realizados sobre el efecto del procesamiento de las hojas en la concentración de ácido cianhídrico en el producto final, indica que al parecer a partir de la sexta semana del período de ensilaje, el nivel de esta sustancia tóxica disminuye a un nivel que no es tóxico para los animales, incluso para los monogástricos. Estos autores indican que en el caso de los rumiantes el proceso de digestión

fermentativa en el rumen neutraliza el efecto del ácido cianhídrico y no se reportan problemas aún suministrando el follaje en forma fresca.

Reed *et al*³ señalan que la presencia de taninos en las hojas de yuca pueden ser factores responsables de la baja digestibilidad de la fracción proteica. Indicando igualmente, como ya se ha mencionado, que ciertos niveles pueden ser beneficiosos en rumiantes, debido al aporte de proteína verdadera al abomaso, impidiendo su degradación en el ecosistema ruminal.

Conclusiones

Muchos son los trabajos reportados respecto al efecto que tienen los diversos metabolitos secundarios o Factores Antinutricionales (FAN) presentes en leguminosas arbóreas, arbustivas y rastreras con potencial forrajero en el trópico y muchas son las conclusiones respecto al efecto que el uso de estas tienen sobre la dinámica digestiva de los rumiantes y sobre los parámetros productivos de estos animales. Pero, independiente de los efectos negativos que se atribuyan a estos compuestos, el uso como forraje de estas especies es de amplia potencialidad bajo sistemas de producción que como los Silvopastoriles, propendan por un uso racional y sostenible de la ganadería en nuestro medio. Igualmente se concluye, que frente a las características especiales que posee el ecosistema ruminal, el uso y los efectos esperados de la suplementación con estos forrajes es variable dependiendo de la concentración en la dieta. Lo que implica, que la presencia de FAN, no es un impedimento para que estos sean utilizados como alternativas suplementarias para la dieta base de los bovinos en el trópico, las gramíneas tradicionales.

Referencias

1. VAN SOEST, P.J. Nutritional ecology of the ruminant. 2 ed. s.l. : Cornell University Press, 1994. 476 p.
2. GIRALDO, L.A. Efecto de tres densidades de árboles en el potencial forrajero de un sistema silvopastoril natural. En: SEMINARIO INTERNACIONAL: SISTEMAS SILVOPASTORILES, casos exitosos y su potencial en Colombia [Santafé de Bogotá : 1995]. Memorias. Santafé de Bogotá : El seminario, 1995. p. 57-73
3. _____. Sistemas Silvopastoriles: Alternativa Sostenible para la ganadería Colombiana. Medellín : Universidad Nacional de Colombia, 2000. 182 p.
4. PEZO, D.E. y IBRAHIM, M. Sistemas Silvopastoriles. CATIE, GTZ. Módulo de Enseñanza Agroforestal. No. 2. Segunda Edición. S.p.i. 275 p.
5. FLORES, O. et al. Parámetros nutricionales de algunas arbóreas leguminosas y no leguminosas con potencial forrajero para la suplementación de rumiantes en el trópico.[online]. In : Livestock Research for Rural Development. Vol. 10, No. 1 (1998). <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd10/1/cati101.htm>
6. MURGUEITIO, E.; ROSALES, M. and GÓMEZ, M. Agroforestería para la producción animal sostenible. CIPAV (Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria). Cali : CIPAV, 2001. p. 67.
7. BERNAL, J. Pastos y forrajes tropicales: Producción y manejo. 2 ed. s.l. : Publicaciones Banganadero, 1991. 544 p.
8. FRANZOLIN, R.; TIEGUI, M.H. y DA SILVA, J.R. Avaliação de população de protozoários ciliados no rúmen, retículo e omaso e do trato digestivo em búfalos alimentados em três níveis de energia. En : Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ). Vol. 15, No. 1 (1998); p. 58–63.
9. FONDEVILLA, M. Procesos implicados en la digestión microbiana de los forrajes de baja calidad. En : Revista de la Facultad de Agronomía. (LUZ). Vol. 15 (1998); p. 87-106.
10. WEIMER, P.J. Manipulating ruminal fermentation: a microbial ecological perspective. In : Journal Animal Science. Vol. 76 (1998); p. 3114 – 3122
11. ROIGÉ, M.B. y TAPIA, M.O. Efecto de algunos tóxicos de origen vegetal y fúngico en el rumen. En : Archivos de Medicina Veterinaria. Vol. 28, No. 1 (1996); p. 5-16.
12. WATERMAN, P.G. et al. African rainforest vegetation and rumen microbes: phenolic compounds and nutrients as correlates of digestibility. In : Oecologia. Vol. 47 (1980) ; p. 22-33.
13. SINGH, K. and ARORA, P. Effect of salseed-meal tannins on protein sintesis, 35S incorporation and cellulose digestibility by rumen microbes *in vitro*. In : Indian Journal Animal Science. Vol. 50, No. 10 (1980), p. 821-825.

14. CHENG, K.J. Microbial ecology and physiology of feed degradation within the rumen. In: SEVENTH INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF RUMINANT PHYSIOLOGY. Physiological ruminants. s.l. : Academic Press, 1991.
15. CASTELLANOS, R.A.; LLAMAS, L.G. y SHIMADA, S.A. Manual de técnicas de investigación en rumiología. México : s.n., 1990.
16. LASCANO, C. Efecto del ambiente y del genotipo en la composición y actividad biológica de los taninos presentes en leguminosas. En: TANINOS EN LA NUTRICIÓN DE RUMIANTES EN COLOMBIA. Memorias de taller sobre taninos. CIAT-ETH. s.l. : Hess HD y Gómez J., 2004. p 25-38.
17. OBISPO, N. Los hongos anaeróbicos del rumen. CENIAP – Instituto de Investigaciones Zootécnicas. Maracay, Venezuela. En : Revista Zootecnia Tropical. Vol. 10, No. 1 (1992); p. 91-107.
18. GIRALDO, L.A.; GARCÍA, W. and LÓPEZ, J.C. 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: Taller sobre taninos. CIAT-ETH. s.l. : Ed. Hess HD y Gómez J., 2004. pp 39-42.
19. RUIZ, T.E. y FEBLES, G. Sistemas silvopastoriles. Conceptos y tecnologías desarrolladas en el Instituto de Ciencia Animal de Cuba. EDICA. San José de las Lajas, Cuba. 34 p.
20. ROSALES, M. et al. Uso de árboles forrajeros para el control de protozoarios ruminales. In : Livestock Research for Rural Development. Vol. 1, No. 1 (1989); p. 79-85.
21. AREGHEORE, E.M. Nutritive and antinutritive value of some tree legumes used in ruminant livestock nutrition in Pacific island countries. In : Journal of South Pacific Agriculture. Vol. 6, No. 2 (1999); p. 50-61.
22. PADMA, B. and SUMATHI, S. Effect of chemical treatments on tannins and *in vitro* protein digestibility of pigeonpea (*Cajanus cajan*) and common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). In : Legume Research. Vol. 16, No. 1 (1993); p. 1-7.
23. TIEMAN, T. Potencial de leguminosas forrajeras con taninos en explotaciones ganaderas de pequeños productores. En: TANINOS EN LA NUTRICIÓN DE RUMIANTES EN COLOMBIA. Memorias de taller sobre taninos. CIAT-ETH. s.l. : Hess HD y Gómez J., 2004. pp 3-8.
24. REED, J.D. Nutritional toxicology of tannins and related polyphenols in forage legumes. In : Journal Animal Science. Vol. 73 (1995); p. 1516-1528.
25. CARULLA, J. y PABÓN, M. Un sistema *in vitro* para evaluar los efectos de los taninos en la degradación de la proteína bajo condiciones ruminales y abomasales. En: TANINOS EN LA NUTRICIÓN DE RUMIANTES EN COLOMBIA. Memorias de taller sobre taninos. CIAT-ETH. s.l. : Hess HD y Gómez J., 2004. p. 15-19.
26. MORENO, B. Algunos métodos y técnicas espectroscópicas aplicables en el análisis químico y estructural de taninos vegetales. En: TANINOS EN LA NUTRICIÓN DE RUMIANTES EN COLOMBIA. Memorias de taller sobre taninos. CIAT-ETH. s.l. : Hess HD y Gómez J., 2004. p. 20-24.
27. JACKSON, F.S. and BARRY, T.N. The extractable and bound condensed tannin content of leaves from tropical tree, shrub and forage legumes. In : Journal Science Food Agriculture. Vol. 71 (1996); p. 103-110.
28. BARRY, T.N. and FORSS, D.A. The condensed tannin content of vegetative *Lotus pedunculatus*, its regulation by fertiliser application, and effect upon protein solubility. In : Journal. Science Food Agriculture. Vol. 34 (1983); p. 1047-1056.
29. BARAHONA, R. et al. Condensed tannins in tropical legumes: concentration, astringency and effects on the nutrition of ruminants. En : 18 INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS. Winnipeg, Canada : International Grassland Congress, 1997. p. 8-7:8-8.
30. ROSALES, M. Mezclas de forrajes: uso de la diversidad forrajera tropical en sistemas agroforestales. En: AGROFORESTERÍA PARA LA PRODUCCIÓN ANIMAL EN AMÉRICA LATINA. Conferencia electrónica. , Roma : FAO, 1998. p. 201-213.
31. FLORES, O. et al. 1998. Parámetros nutricionales de algunas arbóreas leguminosas y no leguminosas con potencial forrajero para la suplementación de rumiantes en el trópico. In : Livestock Research for Rural Development. Vol. 10, No. 1 (1998); www.cipav.org.co/lrrd/lrrd10/1/cati101.htm
32. BARAHONA, R. et al. Intake, digestion and nitrogen utilization by sheep fed tropical legumes with contrasting tannin concentration and astringency. In : Journal Animal Science. Vol. 75 (1997); p. 1633-1640.
33. REED, J.D. Condensed tannins: a factor limiting the use of cassava forage. In : Journal Science Food Agriculture. Vol. 33, No. 3 (1982); p. 213-220.

