

## Metabolitos secundarios no fenólicos en el follaje de árboles y arbustos. Efecto en la fisiología digestiva de rumiantes

Redimio M. Pedraza Olivera

Centro de Estudios para el Desarrollo de la Producción Animal (CEDEPA), Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Camagüey

redimio.pedraza@reduc.edu.cu

### RESUMEN

El uso del follaje de árboles y arbustos en la alimentación de los rumiantes es una importante alternativa para el desarrollo de una producción animal sostenible; sin embargo, presentan compuestos secundarios con actividad anti-nutricional, que actúan como mecanismos de defensa contra microorganismos, insectos y depredadores. No obstante, algunos de ellos pueden ser beneficiosos para los animales. Existen varios miles de estos compuestos, los que se agrupan según las sustancias químicas que los constituyen; los más relevantes para la nutrición de rumiantes son los compuestos fenólicos (principalmente taninos), toxinas nitrogenadas (alcaloides, glicósidos cianogénicos, aminoácidos tóxicos, lectinas e inhibidores de las proteasas) y terpenos (fundamentalmente saponinas). En este trabajo se realizan algunas consideraciones acerca de los metabolitos secundarios no fenólicos del follaje de árboles y arbustos y de su efecto en la fisiología digestiva de los rumiantes.

**Palabras clave:** *factores antinutritivos, forrajes, fisiología digestiva, rumiantes*

### Non-Phenolic Secondary Metabolites in Trees and Shrubs Foliage. Effects on Ruminant Digestion Physiology

#### ABSTRACT

Using the foliage of trees and shrubs in ruminant feeding is an important alternative for the development of sustainable animal production; however, foliage contains antinutritional secondary compounds which act as defense mechanisms against microorganisms, insects, and predators. Nevertheless, some of these compounds can be beneficial for animals. There are several thousands of these compounds grouped according to the chemical substances that constitute them. The most relevant for ruminant nutrition are phenolic compounds (mainly tannins), nitrogen toxins (alkaloids, cyanogenic glycosides, toxic aminoacids, lecithin, and protease inhibitors), and terpenoids (fundamentally saponins). Some considerations on the non-phenolic secondary metabolites in the foliage of trees and shrubs and their effects on ruminant digestion physiology are discussed in this research paper.

**Key Words:** *antinutritional factors, forage, digestion physiology, ruminants*

### INTRODUCCIÓN

El uso del follaje de arbustos y árboles en la alimentación de los rumiantes representa una importante e incuestionable alternativa para el desarrollo de una producción animal sostenible basada en pastos y forrajes. Como la demanda de follajes de árboles en los sistemas de alimentación, generalmente se debe a la pobre calidad de los forrajes bases disponibles, las estrategias de suplementación deben ser tales que se promueva el consumo y la digestibilidad de estos (Singh *et al.*, 2005; Ku-Vera *et al.*, 2006); sin embargo, la presencia en las arbustivas de compuestos secundarios con actividad antinutricional influye en su valor nutritivo. No obstante, en algunos casos la presencia de tales sustancias puede ser beneficiosa para el

animal, especialmente en los rumiantes (Preston y Leng, 1987; Rosales *et al.*, 1989; Díaz *et al.*, 1995; Ørskov, 2005; Galindo *et al.*, 2005; Thi Mui *et al.*, 2005).

Los términos fitoquímicos, metabolitos secundarios y xenobióticos vegetales, también compuestos secundarios, se han utilizado para describir un diverso grupo de moléculas involucradas en la adaptación de las plantas al ambiente y que no son parte de las vías metabólicas primarias del crecimiento y la reproducción celular (McSweeney *et al.*, 2003).

En este trabajo se realizan algunas consideraciones acerca de los metabolitos secundarios no fenólicos del follaje de árboles y arbustos y de su efecto en la fisiología digestiva de los rumiantes.

## DESARROLLO

Los compuestos secundarios actúan como mecanismo de defensa contra microorganismos, insectos y depredadores, como los herbívoros; también en relaciones de mutualismo con insectos y otros animales y como respuesta ante el estrés, como las sequías e inundaciones (Hardborne, 1993; Makkar, 1993; Woodward y Coppock, 1995; Vaidivel y Janardhanan, 2001).

Existen varios miles de estos compuestos (Krueger *et al.*, 2003), que suelen ser agrupados según las sustancias químicas que los constituyen en: fenólicos (taninos, fitoestrógenos y cumarinas); toxinas nitrogenadas (alcaloides, glicósidos cianogénicos, glucosinolatos, aminoácidos tóxicos, lectinas e inhibidores de las proteasas); terpenos (lactonas sesquiterpénicas, glicósidos cardíacos, saponinas); hidrocarburos poliacetilénicos y oxalatos (Ramos *et al.*, 1998).

Las características y los efectos antinutricionales de los compuestos fenólicos han sido ampliamente estudiados (Galindo *et al.*, 1989; D'Mello, 1992; Onwuka, 1992; Jackson *et al.*, 1996; Giner-Chavez *et al.*, 1997; McSweeney *et al.*, 2003; Min *et al.*, 2003), y en esta misma revista se publicó un artículo reseña sobre los taninos (Pedraza *et al.*, 2005).

Los alcaloides son álcalis orgánicos que contienen aminas secundarias, terciarias o cíclicas (McSweeney *et al.*, 2003), entre cuyos precursores se encuentran varios aminoácidos. Según el estado químico del nitrógeno, se definen cuatro grupos: aminas secundarias y terciarias (alcaloides tipo), aminas cuaternarias y N-óxidos (Ramos *et al.*, 1998). Son básicos en reacción, mientras forman sales en la presencia de ácidos; generalmente son insolubles en el agua pero solubles en solventes orgánicos. Una característica de muchos grupos de alcaloides presentes en las plantas forrajeras es su sabor amargo, que posiblemente constituye la base para su identificación y consiguiente rechazo de la planta por los herbívoros (Harborne, 1993), lo que puede inducir modificaciones en el patrón de consumo.

Los alcaloides son un grupo diverso de compuestos que a largo plazo causan problemas fisiológicos y neurológicos en los mamíferos, al acumularse en el hígado. Pueden producir fallos hepáticos si se consumen en suficientes cantidades (Molyneux y Ralphs, 1992). Los alcaloides,

en dependencia de su tipo, pueden provocar estreñimiento, meteorismo, vómito, muerte por dificultad respiratoria, etc.; también, asociados con esteroides producen salivación, vómitos, postración, actividad cardíaca deprimida, disnea y muerte; aborto o efectos congénitos (Manual Merck, 1983). En ocasiones la toxicidad por alcaloides está asociada a micotoxinas presentes en algunos forrajes, más que por acción directa de los forrajes; sin embargo, están presentes en algunas plantas como *Crotalaria* sp, y de los géneros *Acalypha* y *Erythrina*. En la familia *Leguminosae* se encuentran los alcaloides derivados del aminoácido lisina denominados quinolizidinas, distribuidos en varias tribus (*Genisteae*, *Podalyriaceae* y *Sophoreae*) de la subfamilia *Papilionoideae* (Ramos *et al.*, 1998).

Los glicósidos cianogénicos, presentes en muchas especies, liberan cianuro por hidrólisis enzimática o ácida (McSweeney *et al.*, 2003). La cianogénesis es la capacidad que tienen algunas plantas, junto con otros organismos como bacterias, hongos y artrópodos, de liberar ácido cianhídrico (también llamado ácido prúsico: CNH, su ión CN<sup>-</sup> es el cianuro), una molécula tan simple como letal, que actúa inhibiendo a la citocromo oxidasa, enzima de la cadena respiratoria, impidiendo la respiración celular; las moléculas que son portadoras de esta toxina son los glicósidos cianogénicos, en las cuales entra a formar parte un glúcido, el cual estabiliza, mediante un enlace glicosídico, la molécula de ácido cianhídrico (Ramos *et al.*, 1998). Para la ruptura del enlace glicosídico, y subsiguiente liberación de la molécula de ácido cianhídrico, es necesaria la participación de la enzima β-glicosidasa, que las propias células vegetales poseen, estando, por tanto, glicósido y enzima compartimentados (Poulton, 1990). Algunas especies de *Accacia* los contienen, al igual que las hojas y raíces de yuca (*Manihot sculenta*). Su acción aguda se relaciona con fallos en la cadena respiratoria y su efecto crónico, por la ingestión prolongada de bajas dosis, con la posible generación de bocio.

El ejemplo clásico de aminoácido tóxico, relacionado con el empleo de los follajes de árboles y arbustos en la alimentación de rumiantes, es la mimosina, presente en el follaje de *Leucaena leucocephala* y árboles de la familia *Leguminosae* y la subfamilia *Mimosoideae*. Este aminoácido tóxico también está presente en *Crotalaria* y especies

de acacia (McSweeney *et al.*, 2003). Su efecto tóxico se produce por su analogía estructural con los aminoácidos esenciales, al ser incorporados por error en la formación de proteínas enzimáticas o neurotransmisores; este tipo de aminoácidos se encuentra, sobre todo, en las leguminosas y los géneros tropicales (*Leucaena*, *Indigofera* y *Canavalia*), pero también en crucíferas y liliáceas (D'Mello, 1989). El aminoácido tóxico mimosina es un análogo de los aminoácidos aromáticos, que sufre activación por las bacterias ruminales, convirtiéndose en un agente bociógeno; sin embargo, los animales habituados a esta leguminosa, desarrollan una resistencia frente al tóxico que proviene de la adaptación y subsiguiente destoxificación por las mismas bacterias del rumen (Hegarty, 1982; D'Mello, 1989).

Su ingestión por los animales causa pérdida reversible de pelo al inhibir la conversión de metionina en cisteína (D'Mello, 1989; Rosenthal, 1991). La mimosina se metaboliza a 3-hydroxy-4(1H)-pyridone (3,4-DHP) en el rumen y se excreta en la orina (Hegarty, 1982); se ha encontrado en varias regiones del mundo, incluida Cuba (Galindo *et al.*, 2005), que los rumiantes tienen microorganismos ruminales capaces de realizar esta transformación. En Australia y en otras zonas ha resultado exitosa la inoculación de estos microorganismos, o el líquido ruminal, como vía de eliminar los efectos negativos de la mimosina.

Las lectinas son proteínas capaces de unirse de forma reversible a fragmentos glicídicos de gliconjugados, a pesar de su naturaleza no inmunológica, y que han recibido el nombre de fitoheмоaglutininas por su efecto en la coagulación de los eritrocitos (Harborne, 1993). Estas sustancias provocan inhibición en el crecimiento y reducción en la ingestión, afectando a enzimas y hormonas gastrointestinales como la colecistoquinina y a la absorción intestinal al unirse con las células epiteliales de las microvellosidades (Ramos *et al.*, 1998). Se encuentran en semillas de leguminosas y de angiospermas en general, por ejemplo, la euforbiácea *Ricinus communis*, ricino (Harborne, 1993) y en el follaje de *Acacia saligna* (Salem *et al.*, 2004).

En muchas plantas, y particularmente en las semillas de leguminosas, se presentan los inhibidores de las proteinasas, entre los cuales están la tripsina y quimotripsina, que reducen el valor nutritivo de las semillas y la disponibilidad de los

aminoácidos sulfurados, provocando depresión del crecimiento e hipertrofia del páncreas; al contrario de las lectinas, la inactivación de los inhibidores de las proteasas parece ocurrir de forma muy lenta y no completa en el rumen (Dixon y Hosking, 1992). Con el empleo, en la alimentación de los rumiantes, del follaje de plantas de leguminosas que presentan estos metabolitos (Pedraza, 2000; Savón, 2005) estos efectos no son notables.

Entre los terpenos se encuentran las lactonas sesquiterpénicas, los glicósidos cardíacos y las saponinas. Tienen funciones casi universales en las plantas, como hormonas (giberelinas) o, de modo más restringido, como atrayentes de polinizadores; otros, como las piretrinas, son potentes insecticidas (Harborne, 1993; Ramos *et al.*, 1998). De todos ellos, los que tienen mayor relevancia en el empleo del follaje de árboles y arbustos en la alimentación de los rumiantes, son las saponinas.

Algunas saponinas son sustancias tóxicas al animal. Basu y Rastogi (1967), citados por Bondi y Alumot (1987), manifiestan que el efecto tóxico general de las saponinas se debe a su tendencia a alterar la permeabilidad de la pared celular, lo que sucede también en la pared intestinal; esto puede provocar hemólisis de las células sanguíneas (Manual Merck, 1983). Algunas saponinas causan desórdenes fisiológicos severos como gastroenteritis, parálisis y muerte (McSweeney *et al.*, 2003); sin embargo, se han utilizado con éxito como agente defaunante en rumiantes; tal es el caso del uso del pericarpio de la semilla de *Sapindus saponaria* reportado inicialmente por Díaz *et al.* (1995).

Las saponinas se han empleado como detergentes naturales, ya que son sustancias que rebajan la tensión superficial y producen espuma al contacto con el agua. La mayoría de las plantas que contienen saponinas no tienen un sólo compuesto, sino una mezcla compleja, con diferencias en la aglicona o en la longitud y composición de la cadena glicídica, lo que influye en sus propiedades (Ramos *et al.*, 1998).

Existe información contradictoria acerca de su efecto sobre la fermentación ruminal, digestibilidad, etc (Klita *et al.*, 1996). Al igual que los taninos, las saponinas podrían incidir en la mejora de la eficiencia en la utilización del alimento en rumiantes, aumentando el flujo de proteína microbiana hacia el duodeno, que es su efecto más acu-

sado cuando ambas sustancias se hallan presentes, que por separado (Makkar *et al.*, 1995).

## CONSIDERACIONES FINALES

Los efectos perjudiciales, e incluso beneficiosos, de los factores antinutritivos en la producción animal, dependen de muchos aspectos, en su mayoría estrechamente interrelacionados, como son: el tipo específico de sustancia química y su concentración en la digesta, composición de la dieta, especie, categoría, adaptabilidad del animal, procesamiento y manejo de los alimentos, etc. (Pedraza, 1996); sin embargo, sus mecanismos de toxicidad y de efectos promotores de la salud en dietas para animales y humanos, no están bien establecidos (McSweeney *et al.*, 2003). Las estrategias para el empleo de follajes que contienen compuestos secundarios con actividad antinutricional, deben conjugar las habilidades naturales de los rumiantes para enfrentar el efecto adverso de estos compuestos con las prácticas zootécnicas adecuadas para neutralizarlos, lo que incluye facilitar a los animales las condiciones apropiadas para su correcta relación con los follajes y otros alimentos (Shrader *et al.*, 2008) y/o el empleo de métodos físicos, químicos y biológicos.

## REFERENCIAS

- BONDI, A. y E. ALUMOT: "Antinutritive Factors in Animal Feedstuffs and their Effects on Livestock", *Progress in Food and Nutrition Science*, 11: 115-151, 1987.
- DÍAZ, A.; M. AVENDAÑO y A. ESCOBAR: *Use of Tropical Plants as Defaunating Agents and its Effects on Animal Metabolism. Dual Purpose Cattle Research*, p. 273, Eds. Simon Anderson and Jonathan Wadsworth, IFS (International Foundation for Science) / FMVZ-UADY, Proceedings of an International Workshop, Mérida, México, 1995.
- DIXON, R. M. y B. J. HOSKING: "Nutritional Value of Grain Legumes for Ruminants", *Nut. Res. Rev.*, 5: 19-43, 1992.
- D'MELLO, J. P. F.: "Chemical Constraints to the Use of Tropical Legumes in Animal Nutrition", *Animal Feed Science and Technology*, 38: 237-261, 1992.
- D'MELLO, J. P. F.: "Toxic Amino Acids", en Association of Applied Biologists (Ed.) *Aspects of Applied Biology 19. Antinutritional Factors, Potentially Toxic Substances in Plants*, pp: 29-50, Institute of Horticultural Research, Wellesbourne, Warwick CV35 9EF, U. K. 1989.
- GALINDO, J.; D. DELGADO; R. M. PEDRAZA y D. E. GARCÍA: "Impacto de los árboles, los arbustos y otras leguminosas en la ecología ruminal de animales que consumen dietas fibrosas", *Pastos y Forrajes*, 28 (1): 59-68, 2005.
- GALINDO, W.; M. ROSALES, E. MURGEITIO y J. LARRAHONDO: "Sustancias antinutricionales en las hojas de árboles forrajeros", *Livestock Research for Rural Development*, 1 (1), 1989.
- GINERCHAVEZ, B. I.; P. J. VAN SOEST, J. B. ROBERTSON, C. LASCANO y A. PELL: "Comparison of the Precipitation of Alfalfa Leaf Protein and Bovine Serum Albumin by Tannins in the Radial Diffusion Method", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 74 (4): 513-523, 1997.
- HARBORNE, J. B.: *Introduction to Ecological Biochemistry*, 4<sup>th</sup>. Edition, Academic Press, Harcourt Brace & Co. Publishers, New York, USA, 320 pp., 1993.
- HEGARTY, M. P.: "Deleterious Factors in Forages Affecting Animal Production", en J. B. Hacker (Ed.): *Nutritional Limits to Animal Production from Pastures*, pp: 133-150, C.A.B. Farnham Royal U.K., 1982.
- JACKSON, F. S.; T. N. BARRY, C. LASCANO y B. PALMER: "The Extractable and Bound Condensed Tannin Content of Leaves from Tropical Tree, Shrub and Forages Legumes", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 17 (1): 103-110, 1996.
- KLITA, P. T.; G. W. MATHISON; T. W. FENTON y R. T. HARDIN: "Effects of Alfalfa Root Saponins on Digestive Function in Sheep", *J. Anim. Sci.*, 74: 1144-1156, 1996.
- KRUEGER, C. G.; M. M. VESTLING y J. D. REED: "Matrix-Assisted Laser Desorption/ Ionization Time-of-Flight Mass Spectrometry of Heteropolyflavan-3-ols and Glucosylated Heteropolyflavans in Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 538-543, 2003.
- KU-VERA, J. C.; L. RAMÍREZ y V. VALDIVIA: Valoración nutricional del follaje de árboles y arbustos tropicales para los rumiantes, IV Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la Producción Pecuaria Sostenible, CD-ROM, Centro de Convenciones Plaza América, Varadero, Cuba, 24-28 octubre 2006.
- MAKKAR, H. P. S.: "Antinutritional Factors in Foods for Livestock. Animal Production in Developing Countries", *BSAP Occasional Publication*, British Society of Animal Production, Edinburgh, (16): 69-81, 1993.
- MAKKAR, H. P. S.; N. K. BOROWY; K. BECKER y A. DEGEN: "Some Problems in Fiber Determination of a Tannin Rich Forage (*Acacia saligna* leaves) and their Implications *in vivo*", *Animal Feed Science and Technology*, 55 (1-2): 67-76, 1995.

- MCSWEENEY, C. S.; H. P. S. MAKKAR y J. D. REED: "Modification of Rumen Fermentation to Reduce Adverse Effects of Phytochemicals. Matching Herbivore Nutrition to Ecosystems Biodiversity", L. T'Mannetje *et al.* (eds.): Proceedings of the Sixth International Symposium on the Nutrition of Herbivores, pp. 241-268, Mérida, Yucatán, México, 19-24 October 2003.
- MANUAL MERCK: Manual Merck de Veterinaria: un manual para diagnóstico y terapéutica para los veterinarios, 2da ed., p. 1386, New Jersey, 1983.
- MIN, B. R.; T. N. BARRY; G. T. ATTWOOD y W. C. MCNABB: "The Effect of Condensed Tannins on the Nutrition and Health of Ruminants Fed Fresh Temperate Forages: a Review", *Animal Feed Science and Technology*, 106: 3-19, 2003.
- MOLYNEUX, R. J. y M. H. RALPHS: "Plant Toxins and Palatability to Herbivores", *Journal of Range Management*, 45: 13-18, 1992.
- ONWUKA, C. F. I.: "Tannin and Saponin Contents of Some Tropical Browse Species Fed to Goats", *Tropical Agriculture*, 69 (2): 176-180, 1992.
- ØRSKOV, E. R.: La producción animal y su efecto en el suelo, las plantas y las personas, Notas de curso de posgrado, Instituto de Ciencia Animal, La Habana, Cuba, 25 y 26 de noviembre de 2005.
- PEDRAZA, R. M.; S. J. MARTÍNEZ; J. E. HERNÁNDEZ y F. J. FRANCO: "Los taninos en los forrajes y su papel en la nutrición de los rumiantes. Artículo reseña", *Rev. prod. anim.*, Universidad de Camagüey, Cuba, 17 (1): 5-10, 2005.
- PEDRAZA, R. M.: Las especies arbustivas en la producción de rumiantes en el trópico, 1<sup>er</sup> Curso Nacional Utilización de recursos alimenticios alternativos para rumiantes en el trópico, pp. 215-228, Universidad Nacional Experimental Rómulo Gallegos, San Juan de los Morros, Estado Guárico, Venezuela, 15-23 julio, 1996.
- PEDRAZA, R. M.: Valoración nutritiva del follaje de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp y su efecto en el ambiente ruminal, tesis para optar por el grado de doctor en Ciencias Veterinarias, Instituto de Ciencia Animal, Universidad Agraria de La Habana, Cuba, 2000.
- POULTON, J. E.: "Cyanogenesis in Plants", *Plant Physiol*, 94: 401-405, 1990.
- PRESTON, T. R. y R. A. LENG: Matching Ruminant Production with Available Resources in the Tropics and Subtropics, Penambul Books, Armidale, 1987.
- RAMOS, G.; P. FRUTOS.; F. J. GIRÁLDEZ. y A. R. MANTECÓN: Los compuestos secundarios de las plantas en la nutrición de los herbívoros, *Arch. Zootec.*, 47: 597-620, 1998.
- ROSALES M.; A. CUESTA; L. HERNÁNDEZ; M. LAREDO y H. ANZOLA: "Uso de los árboles forrajeros para el control de los protozoarios ruminales", *Livestock Research for Rural Development*, 1 (1), 1989.
- ROSENTHAL, G. A.: "Non protein Aminoacids as Protective Allelochemicals", en G. A. Rosenthal y M. R. Berenbaum (eds.): *Herbivores: Their Interactions with Secondary Plant Metabolites. vol. I, The Chemical Participants*, pp: 1-34, Academic Press, New York. 1991.
- SALEM, A. Z. M.; Y. M. GOHAR; M. M. EL-ADAWY y M. Z. M. SALEM: Growth-Inhibitory Effect of some Antinutritional Factors Extracted from *Acacia saligna* leaves on Intestinal Bacteria Activity in Sheep, 12<sup>th</sup> Scientific Conference of the Egyptian Society of Animal Production (ESAP), vol. 41, pp. 283-300, 2004.
- SAVÓN, L.: "Alimentos fibrosos tropicales y su efecto en la fisiología digestiva de especies monogástricas", *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, (no. especial): 475-487, 2005.
- SHRADER, A. M., B. P. KOTLER, J. S. BROWN y G. I. H. KERLEY: Providing Water for Goats in Arid Landscapes: Effects on Feeding Effort with Regard to Time Period, Herd Size and Secondary Compounds, *Oikos*, 117: 466-472, 2008.
- SINGH, B.; A. SAHOO; R. SHARMA y T. K. BHAT: Effect of Polyethylene Glycol on Gas Production Parameters and Nitrogen Disappearance of some Tree Forages, *Animal Feed Science and Technology*, 123-124: 351-364, 2005.
- THI MUI NGUYEN, DINH VAN BINH y E. R. ØRSKOV: "Effect of Foliages Containing Condensed Tannins on Gastrointestinal Parasites", *Animal Feed Science and Technology*, 121: 77-87, 2005.
- VADIVEL, V. y K. JANARDHANAN: "Nutritional and Anti-Nutritional Attributes of the Under-Utilized Legume, *Cassia floribunda* Cav", *Food Chemistry*, 73 (2): 209-215, 2001.
- WOODWARD, A. y D. L. COPPOCK: Role of Plant Defense in the Utilization of Native Browse in Southern Ethiopia, *Agroforestry Systems*, 32 (2): 147-161, 1995.

Recibido: 12/2/2008

Aceptado: 16/5/2008