

Metabolitos secundarios y patrón de selección de dietas en el bosque deciduo tropical de los llanos centrales venezolanos

Alfredo Baldizán¹, Carlos Domínguez¹, Danny E. García^{2*}, Eduardo Chacón³
y L. Aguilar³

RESUMEN

Mediante el tamizaje fitoquímico se investigó la presencia de algunos grupos de metabolitos secundarios (fenoles, taninos condensados, saponinas, cianógenos y alcaloides) en la biomasa comestible de cuarenta y uno especies presentes en la vegetación del bosque deciduo tropical de los Llanos Centrales de Venezuela. El 44% de las especies encontradas correspondieron a plantas leguminosas. La subfamilia Mimosoide agrupó al 50% de los casos; mientras que Faboide y Caesalpinoide estuvieron presentes en el 28 y 22%, respectivamente. Los fenoles (83%) y los alcaloides (61%) fueron los metabolitos de mayor distribución general. Las combinaciones cuádruples de grupos secundarios fueron las más abundantes en leguminosas (33%) y la doble en las no leguminosas (61%). En algunas de las especies más representativas se observó un efecto marcado de la época, el tipo de bosque y la ubicación geográfica, en la presencia de dichos grupos funcionales. Sin embargo, dependió de las particularidades fitoquímicas en cada caso. Mediante pruebas microhistológicas se observó un amplio rango de aceptabilidad por parte de los bovinos y caprinos. En sentido general, los bovinos consumieron ávidamente aquellas especies con pocas combinaciones de metabolitos, mientras que los caprinos no mostraron preferencias específicas. Se concluye que las especies analizadas contienen en su biomasa

¹ Instituto para el Desarrollo de Sistemas Agrosustentables, Universidad Nacional Experimental "Rómulo Gallegos", Apartado 4563, San Juan de Los Morros, estado Guárico, Venezuela

² Estación Experimental y de Producción Agrícola "Rafael Rangel", Universidad de los Andes, estado Trujillo, Venezuela. *Correo electrónico: dagamar8@hotmail.com

³ Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Central de Venezuela, Maracay, estado Aragua, Venezuela

algunos metabolitos secundarios cuya presencia en algunos casos varía con la época, el tipo de bosque y su ubicación. Los fenoles y los alcaloides son los grupos que requieren mayor atención en cuanto a su posible repercusión antinutricional, por su elevada distribución en la vegetación.

Palabras clave: composición fitoquímica, metabolitos, bosque deciduo tropical, tóxicos, especies forrajeras.

Secondary metabolites in a tropical deciduous forest vegetation of the Venezuelan central plains

SUMMARY

The presence of some groups of secondary metabolites (phenols, condensed tannins, saponins, cyanogens and alkaloids) in the edible biomass of 41 species in the tropical deciduous forest vegetation of the Central Plains, Venezuela were investigated. Forty four per cent of the species corresponded to leguminous plants. The Mimosoide subfamily contained 50% of the cases; while Faboide and Caesalpinoide were present in 28 and 22%, respectively. Phenols (83%) and alkaloids (61%) showed a greater general distribution. The quadruple combinations of secondary groups were the most abundant in leguminous (33%) and the double in non leguminous species (61%). In some representative species, a marked effect of the season, the forest type, and the geographical location were observed. However, it depended of the phytochemical particularities. By microhistological tests a wide range of acceptability were observed. In general, cattle consumed eagerly species with few metabolites combinations; while goats showed non specific preferences. The edible biomass of analyzed species contains some secondary metabolites groups whose presence, in some cases, varies with season, the forest type and location. Phenols and alkaloids are the groups that require bigger attention for their possible antinutricional repercussion.

Key words: phytochemical composition, metabolites, tropical deciduous forest, toxics, fodder species.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas los árboles, arbustos y las especies rastreras han tenido un papel preponderante en la alimentación animal, debido a su

naturaleza multipropósito y amplio margen de adaptación a climas y suelos. En este sentido, existen muchas especies con potencial forrajero, entre las que se destacan las leguminosas por presentar considerables niveles proteicos y elevado valor nutritivo. Sin embargo, muchas de estas plantas contienen metabolitos secundarios que, en dependencia de su estructura química y concentración, pueden constituir factores antinutritivos en los herbívoros que las consumen (Aerts *et al.*, 1999).

Por otra parte, la vegetación del bosque deciduo tropical de los llanos centrales de Venezuela constituye una fuente primordial de especies con características forrajeras que le proveen al ganado de numerosos nutrientes, fundamentalmente, en el periodo de mínimas precipitaciones donde la disponibilidad de alimentos es escasa.

La caracterización fitoquímica integral de las plantas de mayor distribución en dicha área, así como el conocimiento de las variaciones asociadas con factores tales como la época, tipo de formación vegetal y su ubicación, facilitará un mayor aprovechamiento de las bondades de estos sistemas silvopastoriles naturales.

El presente trabajo tuvo como propósito fundamental la detección de fenoles, taninos condensados, saponinas, cianógenos y alcaloides en la biomasa comestible de cuarenta y uno especies perteneciente al bosque deciduo tropical de los llanos centrales de Venezuela y determinar el efecto estacional, tipo de bosque y la zona de muestreo, sobre el grado de positividad en las especies más representativas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características de las zonas de muestreo

La recolección del material vegetal se realizó en el centro norte llanero, específicamente en la zona sur del estado Aragua y noreste del estado Guárico enmarcada entre los 65°15' O 8°40' N, 66°00' O 9°15' N, 67°01' O 9°11' N y 66°15' O 9°15' N, Venezuela.

Clima

El clima es marcadamente biestacional con una época de sequía comprendida principalmente entre diciembre y abril la cual se tomó como periodo poco lluvioso para la realización de los muestreos y otra de lluvias

que abarca los meses de mayo a noviembre como periodo lluvioso. La precipitación promedio anual en la zona se encuentra entre 1.027 y 1.380 mm y la temperatura media es 27°C.

Tipo de vegetación

La vegetación es de bosque seco tropical, conformada por paisajes de sabana dominada por la vegetación graminoide (*Trachypogon* sp. y *Axonopus* sp.) y árboles achaparrados entre los que se destacan *Curatella* sp., *Byrsonima* sp., *Prosopis* sp., y *Acacia* sp. La identificación del tipo de formación vegetal se realizó mediante las descripciones realizadas por Baldizán (2003).

Relieve

Varía desde áreas planas con pendiente próximas a cero hasta áreas con pendientes abruptas. Existen paisajes de pie de monte de colinas y galeras en contacto con la serranía del interior y altiplanicie (mesa conservada), entre otros.

Suelo

Oscilan de franco arenoso a franco arcilloso, con acidez moderada o nula. Algunos indicadores del suelo en las fincas muestreadas, en dependencia del uso de la tierra, se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características físico-químicas de las principales zonas de muestreo

Finca	Textura†	pH	Área sin cultivar			Área cultivada		
			Nt	CO	FL	Nt	CO	FP
Uverito	FA	6,60	0,16	3,19	0,42	0,16	3,72	52,17
La Tigana	FA	7,01	0,25	3,90	0,41	0,18	3,18	53,13
Santa Rosalía	Fa	5,60	0,29	2,80	0,44	0,23	1,79	62,30
La Represa	FA	6,03	0,20	6,80	0,29	0,15	1,41	47,23

† FA: franco arenoso. Fa: franco arcilloso. Nt: nitrógeno total. CO: carbono orgánico. FL: fracción ligera. FP: fracción pesada.

Recolección y preparación de muestras

La fracción comestible de cada especie (hojas, flores y frutos) fue colectada, de acuerdo a los factores estudiados, a partir de cinco plantas con aproximadamente la misma edad y en el mismo estado fenológico, en los meses comprendidos entre noviembre de 1999 hasta octubre de 2001 en horas de la mañana (9:00-11:00 a.m.). Todo el material se llevó de forma inmediata al Laboratorio de Bromatología de la Universidad Nacional Experimental "Rómulo Gallegos" y se secó a temperatura ambiente, en un local ventilado y oscuro, durante 14 días. Posteriormente fueron molinadas hasta un tamaño de partícula de 1 mm, y se almacenaron en frascos herméticos hasta la realización de los análisis correspondientes.

Particularidades del muestreo según los tratamientos

Para la determinación del efecto estacional y tipo de bosque, las muestras correspondientes a las especies representativas se tomaron de la finca "La Represa". Con relación a las evaluaciones cualitativas para la determinación del efecto localización, los muestreos se llevaron a cabo en los bosques secundarios de cuatro fincas (Uverito, La Tigana, Santa Rosalía y La Represa) enmarcadas dentro de la zona de estudio, pero distantes entre sí.

Ensayos analíticos

Tamizaje fitoquímico

Inicialmente se pesaron 25 g de cada material vegetal y macerados con 250 mL de etanol al 98% durante 48 horas, realizando los análisis por triplicado. A los extractos alcohólicos se les aplicó el tamizaje fitoquímico descrito por García (2003) para investigar la presencia de fenoles (Fn) mediante la utilización de Cloruro de Hierro (III), taninos condensados (TC) a partir del ensayo con Vainillina/ácido sulfúrico, saponinas (Sap) tomando en cuenta el índice de espuma (Galindo *et al.*, 1989), cianógenos (Cn) mediante la reacción con el papel picrosódico y alcaloides (Alc) a partir de la precipitación con sal de Antimonio en medio ácido.

Para la descripción de los ensayos se utilizó el sistema cualitativo de cruces para especificar la presencia o ausencia de los grupos de metabolitos siguiendo los criterios: presencia cuantiosa (+++), presencia notable (++) , presencia leve (++) y ausencia (-). Todas las pruebas cualitativas fueron realizadas por tres analistas de forma individual para corroborar la escala de positividad asumida.

Con el fin de comprobar el estado de los reactivos analíticos, se utilizaron soluciones de compuestos patrones. Para los Fn se empleó solución de fenol (1%), en el caso de los TC se comprobó mediante D+ Catequina (2%). La calidad del picrato de sodio se verificó mediante la reacción con extracto de Amigdalina 3% (m/v) y para los Alc las pruebas se realizaron con Gramina (2%) y Efedrina (1%).

Manejo animal, estimación del consumo y técnica microhistológica

Selección de dietas y observaciones visuales

Se utilizó un rebaño compuesto inicialmente por 150 caprinos mestizos y 60 vacunos cebuínos, cada uno constituido por composición etaria combinada y con distintos sexos. La salida al pastoreo se efectuó a partir de las 7:00 a.m., tanto para caprinos como para bovinos. Durante el periodo experimental los animales solamente consumieron la vegetación del bosque.

Basándose en la metodología propuesta por Espinoza (1996) se procedió a la observación visual a distancia, siguiendo el recorrido de los rebaños de rumiantes a través del bosque mediante el auxilio de binoculares para no perturbar los hábitos de pastoreo y/o ramoneo y precisar las especies vegetales consumidas y sus partes en las diferentes épocas del año (patrón de conducta). Se observaron diariamente en horas del día (8:00 a.m.- 5:00 p.m.) el comportamiento de 45 caprinos y 32 vacunos.

Siguiendo la técnica del pastoreo simulado (Hand Plucking) se colectaron muestras vegetales similares a las consumidas (Schwartz *et al.*, 1977). Se efectuaron observaciones periódicas de tres días seguidos, cada 4 semanas a través del año.

Análisis microhistológico de la vegetación

Para la preparación de los patrones de epidermis vegetales se consideraron las recomendaciones propuestas por Virgüez (1993). Se tomaron muestras de las plantas (hojas y flores) más abundantes y que se consideraron consumidas por el método de observación directa, para así formar los patrones de referencia. El montaje de los patrones se hizo en base a 60 especies de plantas herbáceas y leñosas extraídas en la misma área de estudio. De las especies recolectadas se montaron 720 láminas, de las cuales fueron seleccionadas por duplicado las más nítidas para cada especie.

Los colorantes empleados para el contraste de los tejidos fueron: azul de algodón con toluidina, orange G, verde yodo y fast-green (Cutler, 1988). El tejido epidérmico foliar de cada planta se observó tanto en la región abaxial como adaxial (Granado, 1989). Los materiales considerados se observaron microscópicamente tomando fotografías de cada especie y partes de las mismas por medio de un microscopio invertido Zeiss Axioskop M35W con cámara Nikon FX-235A incorporada utilizando película de 135 mm y 100 ASA.

Análisis microhistológico de las heces

La caracterización morfológica de la epidermis de los patrones ensayados se sustentó de acuerdo a las descripciones bibliográficas generadas por Metcalfe y Chalk (1979). Siguiendo la metodología empleada por Virgüez y Chacón (1996), cada cuatro semanas y procurando limpiar previamente los corrales, se procedió a la recolección de las heces frescas tanto de bovinos como de caprinos dentro de los respectivos corrales. Los muestreos se efectuaron por tres días consecutivos (submuestras) cada mes a lo largo del año. El muestreo se hizo al azar dentro de los corrales en forma de zig-zag o línea quebrada, procurando coleccionar en diferentes sitios. Las heces de bovinos se tomaron por separado en bandejas de aluminio desechable con una capacidad aproximada de 1 kg de heces. Se coleccionaron las heces de la parte central con guantes desechables retirando la parte superior y evitando la porción en contacto con el suelo. Las heces de caprinos se recogieron con pinzas evitando la contaminación con tierra y pelos, y se introdujeron en frascos de vidrio con tapas de roscas. Cada recipiente se identificó con la fecha y corral de procedencia. Se tomaron seis muestreos para la época seca y seis muestreos para la época húmeda. Las muestras se preservaron en hielo seco hasta su transporte al laboratorio.

La morfología básica de los tejidos presentes en las heces se hizo por medio de la comparación visual de lo observado en el microscopio con los dibujos y fotografías obtenidas en los patrones. La presencia, formas, tamaños y distribución de tricomas, estomas, esclereidas, cuerpos de sílice, y parénquimas sirvieron para reconocer las especies botánicas.

Se consideraron especies altamente consumidas aquellas que presentaron elevados porcentajes de aparición en las heces; resultado que se corroboró mediante el método de observación visual.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las especies muestreadas en el bosque decido tropical se presentan en el Cuadro 2. Del total de especies, 49% correspondieron a plantas leguminosas, de las cuales la mitad pertenecieron a la subfamilia Mimosoide y el resto quedó distribuido entre Faboide (26%) y Caesalpinoide (21%). El resto de las especies estuvieron formadas por una gran diversidad de familias botánicas, entre las que se destacaron *Bignoniaceae*, *Boraginaceae*, *Flacourtiaceae* y *Malvaceae*, aspecto que apoya lo expresado por numerosos autores en cuanto a que no solamente las especies leguminosas pueden ser utilizadas con éxito en la alimentación animal; sino que otras plantas de diferentes agrupaciones botánicas presentan elevado potencial para los sistemas silvopastoriles en condiciones tropicales (González y Cáceres, 2002; Pinto *et al.*, 2002).

Entre los géneros que más sobresalieron en cuanto al número de especies se encontraron *Acacia*, *Caesalpinia*, *Tabebuia* y *Mimosa*, los cuales han sido señalados como promisorios para los sistemas agroforestales en investigaciones llevadas a cabo en Latinoamérica y otras regiones del mundo (Abdulrazak *et al.*, 2000; Pinto *et al.*, 2003).

Con relación a las partes de las plantas evaluadas, el 90% correspondieron a las hojas; fracción de la biomasa comestible que, conjuntamente con los frutos, son las más nutritivas por presentar elevados valores de proteína y exhibir mayor valor nutricional en términos de digestibilidad y degradabilidad ruminal (Larbi *et al.*, 1997; Kaitho *et al.*, 1997).

Al analizar las características fitoquímicas de todas las especies, una buena parte de ellas presentaron Fn y Alc (83 y 61%, respectivamente) y tanto las especies leguminosas como no leguminosas exhibieron individualmente considerables proporciones de dichos metabolitos (Figura 1). Estos resultados coinciden con lo planteado por Kumar (1992), Sotelo *et al.*, (1995), Rosales (1998) y Varona (2006) en relación a que los polifenoles y los compuestos nitrogenados de naturaleza no proteica constituyen los dos grupos de metabolitos secundarios de mayor distribución en las plantas superiores. Por tales motivos, estos compuestos presentan la mayor importancia en cuanto a su posible efecto detrimental en la alimentación animal en las condiciones de pastoreo bajo este sistema.

Cuadro 2. Metabolitos secundarios y consumo relativo de algunas plantas del bosque deciduo tropical en la época de lluvias

Especie	Nombre común	Familia	Parte	Metabolito †					CR ‡	
				Fn	TC	Sap	Cn	Alc	Bov	Cap
<i>Acacia flexuosa</i>	Cují hediondo	Leguminosae (Mimosoide)	Hoja	+++	+	-	+++	-	N	N
<i>Acacia glomerosa</i>	Tiamo	Leguminosae (Mimosoide)	Hoja	++	++	+	++	-	E	E
<i>Acacia macracantha</i>	Cují negro Cují hediondo	Leguminosae (Mimosoide)	Hoja	++	+++	+	+++	+	B	E
<i>Acacia tortuosa</i>	Cují torcido	Leguminosae (Mimosoide)	Hoja	+	-	++	++	++	B	E
<i>Axonopus anceps</i>	Paja burrera	Graminae	Hoja	+	+	-	-	-	E	B
<i>Bahúnia sp.</i>	Urape	Leguminosae (Caesalpinoide)	Hoja	+++	-	-	-	-	B	B
<i>Banisteriopsis cornifolia</i>	Picopico	Malpighiaceae	Hoja	++	-	+	-	+	N	N
<i>Bourreria cumanensis</i>	Guatacaro	Boraginaceae	Hoja	+++	++	-	+	+	B	E
<i>Byrsonima crassifolia</i>	Chaparro	Malpighiaceae	Flor	+++	++	+	-	+	B	N
<i>Caesalpinia coriaria</i>	Dividive	Leguminosae (Caesalpinoide)	Fruto	+++	-	+	++	+	E	E
<i>Caesalpinia granadillo</i>	Granadillo	Leguminosae (Caesalpinoide)	Fruto	+++	-	+	++	+	E	E
<i>Calliandra crugeri</i>	Cacho de venado	Leguminosae (Mimosoide)	Hoja	+++	+++	++	-	+	B	E
<i>Casearia hirsuta</i>	Espuela de gallo (Cigarrón)	Flacourtiaceae	Hoja	+	-	+	-	-	B	B
<i>Cassia occidentalis</i>	Brusca hembra	Leguminosae (Caesalpinoide)	Hoja	+	+	-	-	-	N	N
<i>Centrosema sp.</i>	Bejuquillo	Leguminosae (Faboide)	Hoja	-	-	-	-	++	E	E
<i>Copernicia tectorum</i>	Palma llanera	Palmae	Hoja	+	++	-	-	-	E	E
<i>Cordia sp.</i>	Caujaro Tarare	Boraginaceae	Hoja	+++	-	-	+	-	E	E
<i>Cordia sp.</i>	Caujaro Tarare	Boraginaceae	Fruto	+++	-	-	-	-	E	E
<i>Croton niveus</i>	Carcanapire	Euphorbiaceae	Hoja	++	++	-	-	-	N	B
<i>Erythrina velutina</i>	Pericoco	Leguminosae (Faboide)	Hoja	++	-	-	-	+	N	N

† Fn: fenoles TC: taninos condensados Sap: saponinas Cn: cianógenos Alc: alcaloides

‡ CR: Consumo relativo. Bov: Bovino. Cap: Caprino. E: elevado B: bajo N: no observado.

.../

/...Continuación

Cuadro 2. Metabolitos secundarios y consumo relativo de algunas plantas del bosque deciduo tropical en la época de lluvias

Especie	Nombre común	Familia	Parte	Metabolito †					CR ‡	
				Fn	TC	Sap	Cn	Alc	Bov	Cap
<i>Godmania macrocarpa</i>	Cornicauro	Bignoniaceae	Hoja	+	-	+	-	-	N	N
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Guácimo	Esterculeaceae	Hoja	-	-	-	++	-	E	E
<i>Hecatostemum guazumaefolius</i>	Lagunero	Flacourtiaceae	Hoja	++	++	++	++	+	N	N
<i>Lasiatis sloanei</i>	Carrizo	Graminae	Hoja	-	-	-	-	+	E	B
<i>Lonchocarpus ernestii</i>	Majomo	Leguminosae (Faboide)	Hoja	++	-	-	-	+	B	B
<i>Machaerium arboreum</i>	Chacarrandán	Leguminosae (Faboide)	Hoja	.	-	+	-	-	N	B
<i>Mimosa arenosa</i>	Ñaraulí	Leguminosae (Mimosoide)	Hoja	+	+	-	-	++	B	E
<i>Mimosa tenuiflora</i>	Cují negro	Leguminosae (Mimosoide)	Hoja	++	-	+	-	-	B	E
<i>Myrospermum frutescens</i>	Cereipo	Leguminosae (Faboide)	Hoja	-	-	-	-	+	N	E
<i>Pereskia guamacho</i>	Guamacho	Cactaceae	Hoja	-	-	+	-	+	B	E
<i>Phithirusa orinosensis</i>	Guate pájarito	Lorantaceae	Hoja	+++	++	+++	++	+	B	E
<i>Piptadenia rubescens</i>	Cujicillo	Leguminosae (Mimosoide)	Hoja	+++	++	++	-	+	B	B
<i>Prosopis juliflora</i>	Cují blanco	Leguminosae (Mimosoide)	Hoja	+	-	-	+	++	B	E
<i>Ruprechtia hamanii</i>	Coloraito	Polygonaceae	Hoja	++	++	-	+	++	B	E
<i>Sida acuta</i>	Escoba	Malvaceae	Hoja	++	-	+	-	+	E	E
<i>Sida glomerata</i>	Mariposa	Malvaceae	Hoja	++	-	-	-	+	B	E
<i>Spondias mombin</i>	Jobo	Anacardiaceae	Fruto	-	-	-	-	+	E	E
<i>Strychnos fendleri</i>	Cruceto	Loganiaceae	Hoja	+	-	+	-	-	N	N
<i>Tabebuia billbergii</i>	Acapro	Bignoniaceae	Hoja	+	-	-	-	+	E	E
<i>Tabebuia billbergii</i>	Acapro	Bignoniaceae	Flor	-	-	-	+	-	E	E
<i>Tabebuia chrysantha</i>	Araguaney	Bignoniaceae	Flor	+	-	-	-	+	E	E

† Fn: fenoles TC: taninos condensados Sap: saponinas Cn: cianógenos Alc: alcaloides

‡ CR: Consumo relativo. Bov: Bovino. Cap: Caprino. E: elevado B: bajo N: no observado

Las Sap estuvieron presentes en el 39% de todas las especies; mientras que los TC y los Cn se detectaron sólo en el 35% de los casos. La menor distribución de estos metabolitos se encuentra directamente relacionada a que cada grupo fitoquímico presenta funciones específicas, y no generales, en las plantas que los contienen (Kumar, 1992). En ese sentido, las Sap participan activamente en los procesos de regulación del crecimiento vegetal en determinados estadios de crecimiento, y aunque muchas de ellas no son dañinas para el metabolismo de los rumiantes, le confirieren a los

forrajes sabor amargo y una menor palatabilidad. En el caso de los TC, sus características astringentes son más acentuadas en las etapas iniciales del desarrollo vegetativo y pueden disminuir el consumo voluntario e interferir en los procesos de asimilación de las proteínas y los carbohidratos (Aerts *et al.*, 1999). Los Cn constituyen típicos compuestos de defensa y las plantas sólo los sintetizan cuando se encuentran sometidas a estrés hídrico, son atacadas por plagas y/o enfermedades foliares o producto al pisoteo de los animales (García, 2003).

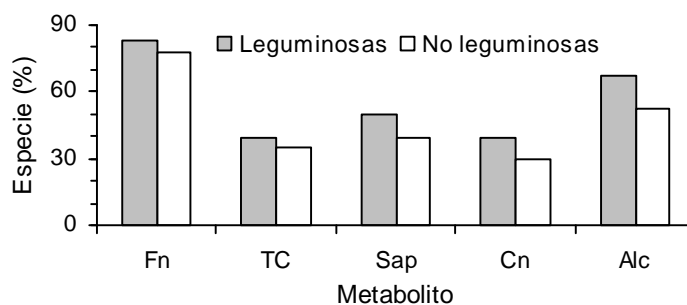


Figura 1. Distribución de los principales tipos de metabolitos secundarios en relación con la familia botánica. (Fn: fenoles TC: taninos condensados Sap: saponinas Cn: cianógenos Alc: alcaloides).

Teniendo en cuenta las combinaciones de los compuestos detectados (Figura 2) las leguminosas presentaron mayor proporción de especies con combinaciones cuádruples de compuestos; mientras que las no leguminosas se destacaron sólo por presentar elevado porcentaje de combinaciones dobles. Estas diferencias pueden ser atribuidas a que, en sentido general, las especies fijadoras de nitrógeno sintetizan una mayor diversidad de estructuras secundarias como estrategia de supervivencia más avanzada, que en el caso de las plantas pertenecientes a otras familias botánicas; en las cuales, con la formación de pocas toxinas potentes se puede lograr el efecto deseado (García, 2004a,b). Dicho proceso se ha perfeccionado con millones de años de co-evolución de las plantas con los animales herbívoros y constituye un aspecto medular para comprender las diferencias quimiotaconómicas entre las especies vegetales y su repercusión en el plano nutricional.

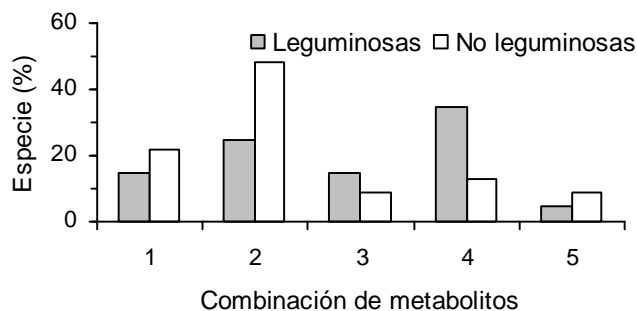


Figura 2. Porcentaje de especies según la combinación de compuestos secundarios en su biomasa.

Con relación a las especies altamente consumidas por los bovinos y caprinos la Figura 3 muestra la distribución según la presencia de cada grupo funcional. Si bien es conocido que el consumo que realizan los animales en pastoreo libre, no sólo depende de la composición química de las plantas que forman parte de su dieta; sino también de la categoría animal y sus hábitos alimentarios, la disponibilidad de material voluminoso y de factores intrínsecos de las especies tales como su arquitectura, la aparición de espinas, la rugosidad y la pubescencia de las hojas; la presencia de metabolitos secundarios en la biomasa comestible constituye un factor importante que se debe considerar para comprender la selectividad que realizan los animales, cuando se alimentan de especies arbóreas y arbustivas (Pinto *et al.*, 2003). En ese sentido se observó un amplio margen de aceptabilidad por parte de los rumiantes. El 35 % de las especies fueron bien consumidas por los bovinos y el 48 % por los caprinos, lo cual sugiere la factibilidad del uso de estas fuentes de alimento como material suplementario, la mayor capacidad de ramoneo de las cabras y la elevada diversificación que realizan de los componentes dietéticos (Baldizán, 2003).

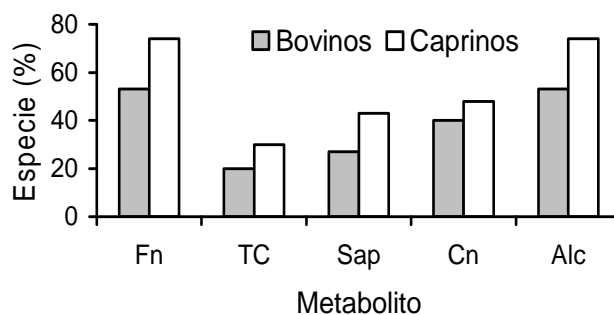


Figura 3. Distribución de las principales especies altamente consumidas según los grupos de metabolitos secundarios.

En todos los casos, los caprinos consumieron más especies que contenían mayor diversidad de compuestos secundarios en comparación con los bovinos. No obstante, se observó un patrón homogéneo en cuanto a que los Fn y Alc, seguido por los Cn y Sap fueron los metabolitos presentes en las dietas más consumidas. Al respecto, estudios bioquímicos han determinado que los rumiantes, y particularmente las cabras, se encuentran provistos de defensas fisiológicas tales como la secreción bucal de proteínas con elevadas proporciones de prolina e hidroxiprolina, la adaptación de las bacterias ruminales para degradar compuestos nitrogenados no proteicos, la conjugación de los cianuros con el azufre endógeno y la hidrólisis ácida de los glucósidos saponínicos como mecanismos para contrarrestar las elevadas dosis de Fn, Alc, Cn y Sap, respectivamente (García, 2004a).

Por su parte, la menor proporción de TC en las plantas mayormente consumidas indica que las especies que contienen este grupo de metabolitos secundarios, son menos apetecibles para los vacunos y caprinos. Asimismo, los animales consumieron con avidez aquellas plantas con poca presencia de metabolitos combinados (Figura 4). Sin embargo, los caprinos consumieron mejor las plantas con todas las combinaciones de compuestos, quizás debido a su mayor capacidad de degradar o transformar dichas estructuras mediante la acción de los microorganismos ruminales (Kumar, 1992).

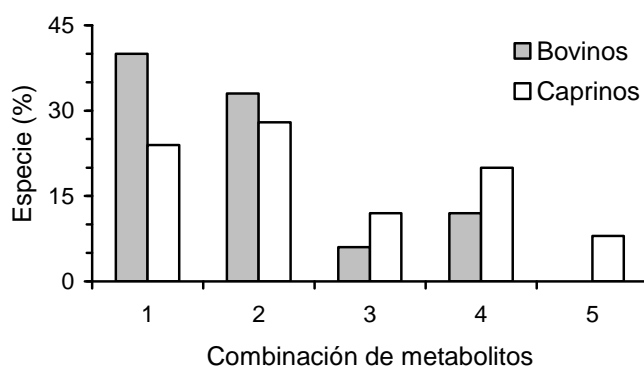


Figura 4. Porcentaje de especies altamente consumidas considerando la combinación de compuestos fitoquímicos.

Al analizar las variaciones ocasionadas por la época en la presencia de los grupos fitoquímicos, en algunas de las especies más importantes, no se observó un efecto estacional acentuado en *A. macracantha*, *P. juliflora* y *A. glomerosa* (Cuadro 3). Sin embargo, *P. cassia* mostró características tánicas y saponínicas en el periodo poco lluvioso, *B. cumanensis* mayor presencia de TC, Cn y Alc en el periodo lluvioso y *Cordia* sp. propiedades cianogénicas en la lluvia. Dichas variaciones interespecíficas, sin duda, se encuentran estrechamente relacionadas con las fluctuaciones climáticas y el grado de humedad del suelo. Al respecto, estudios de ecofisiología vegetal han determinado que la respuesta, en cuanto a la biosíntesis de compuestos secundarios, se lleva a cabo a partir de estímulos sensoriales mediados por las vías de transducción de señales dependientes solamente del factor genético (Pineda, 2004); por tales motivos quizás la respuesta fue diferenciada en cada especie.

Un efecto marcado de la época en la presencia de polifenoles, cumarinas, taninos, flavonoides y esteroides han sido también señaladas por García *et al.* (2003) en variedades forrajeras de *Morus alba* de amplia distribución en Centroamérica.

Cuadro 3. Efecto época en la presencia de metabolitos secundarios en algunas especies representativas del bosque deciduo tropical (Bosque secundario)

Especie	Época†	Metabolitos‡				
		Fn	TC	Sap	Cn	Alc
<i>A. macracantha</i>	PLL	++	+++	+	+++	+
	PPLL	++	++	+	++	+
<i>P. juliflora</i>	PLL	+	-	-	+	++
	PPLL	+	+	-	+	++
<i>A. glomerosa</i>	PLL	++	++	+	++	-
	PPLL	++	+	++	+++	-
<i>B. cumanesis</i>	PLL	+++	++	-	+	+
	PPLL	+++	-	+	-	-
<i>Cordia</i> sp. (hojas)	PLL	+++	-	-	+	-
	PPLL	+++	-	-	-	-

† PLL: periodo lluvioso. PPLL: periodo poco lluvioso.

‡ Fn: fenoles TC: taninos condensados Sap: saponinas Cn: cianógenos Alc: alcaloides.

Con relación a la presencia de los compuestos secundarios en dependencia del tipo de bosque (Cuadro 4), *A. glomerosa* y *Cordia* sp. no mostraron diferencias respecto a la formación vegetal. No obstante, se observaron variaciones cualitativas importantes en el resto de las especies en la aparición de mayores cantidades de TC, fundamentalmente, cuando éstas se encontraban en el bosque secundario con respecto al área virgen.

Cuadro 4. Efecto tipo de bosque en la presencia de metabolitos secundarios en algunas especies típicas del bosque deciduo tropical en la época de lluvias.

Especie	Tipo de bosque	Metabolitos†				
		Fn	TC	Sap	Cn	Alc
<i>A. macracantha</i>	Virgen	++	-	+	+	+
	Secundario	++	+++	+	++	+
<i>P. juliflora</i>	Virgen	++	-	+	-	++
	Secundario	+	-	-	+	++
<i>A. glomerosa</i>	Virgen	+++	+++	+	+++	-
	Secundario	++	++	+	++	-
<i>B. cumanesis</i>	Virgen	+++	-	-	+	-
	Secundario	+++	++	-	+	+
<i>Cordia</i> sp. (hojas)	Virgen	+++	-	-	-	-
	Secundario	+++	-	-	+	-

† Fn: fenoles TC: taninos condensados Sap: saponinas Cn: cianógenos Alc: alcaloides

Estos resultados quizás se deben a que en el bosque secundario la biomasa de las especies presentaba menor edad con respecto a la formación virgen, debido al proceso de regeneración natural que ocurre en los primeros, cuando las áreas son intervenidas. En este sentido, algunas investigaciones apuntan a que las especies arbóreas que contienen polifenoles en su fracción comestible (TC y taninos hidrolizables) presentan mayores concentraciones en la etapa juvenil de su desarrollo vegetativo como estrategia de defensa frente a la depredación de los herbívoros (Brooks y Owen-Smith, 1994; Mochiutii, 1995).

Al analizar el efecto de la localización en la presencia de compuestos secundarios (Cuadro 5), se observaron variaciones cualitativas en *A. macracantha* y *P. juliflora* para todos los grupos de metabolitos, aspecto que quizás estuvo condicionado por las diferenciadas características edafoclimáticas de cada finca muestreada. En este sentido, los Fn y Cn estuvieron presentes de forma independiente a la zona muestrea, en cambio el resto de los grupos exhibieron variaciones acentuadas. Al respecto Makkar y Becker (1998), en estudios realizados en regiones contrastantes del mundo (bosque húmedo subtropical, sabanas secas y laderas frías), determinaron que la altitud; así como las características del suelo y el clima en los cuales se desarrollan algunos árboles y arbustos (*Albizia* sp., *Morus* sp. y *Acacia* sp.), influyen notablemente en la presencia y actividad de algunos metabolitos secundarios de elevada distribución natural. Sin embargo, Mamiam *et al.* (2006) determinaron en especies del género *Clusia* que la presencia de TC y quinonoides no se ve afectada por las condiciones edáficas. No obstante, los flavonoides, Sap y triterpenoides presentan variaciones cualitativas acentuadas en función al grado de acidez del suelo.

Cuadro 5. Presencia de grupos secundarios en relación a la finca de muestreo en el bosque decido tropical (Bosque secundario).

Especie	Finca	Metabolitos †				
		Fn	TC	Sap	Cn	Alc
<i>A. macracantha</i>	Uverito	+++	-	++	+	-
	La Tigana	++	-	+	+	++
	Santa Rosalía	+	+++	-	+++	-
	Represa	++	+++	+	+++	+
<i>P. juliflora</i>	Uverito	+++	-	++	+	-
	La Tigana	++	-	+	-	++
	Santa Rosalía	+	+++	-	+++	-
	Represa	+	-	-	+	++

† Fn: fenoles TC: taninos condensados Sap: saponinas Cn: cianógenos Alc: alcaloides

Dado la divergencia de los resultados sobre el efecto de la ubicación geográfica en la presencia de metabolitos secundarios en árboles forrajeros, y que en la mayoría de los experimentos publicados no se ha definido el grado de madurez de las plantas y el estado fenológico, se hace muy difícil comparar los resultados y establecer patrones fitoquímicos que caractericen, de manera invariante, a cada especie. No obstante, en la medida que los estudios sean encaminados a determinar el efecto de varios factores, de manera conjunta, se podrá dilucidar con exactitud las posibles propiedades antinutritivas de cada fuente de alimento.

CONCLUSIONES

Las especies analizadas del bosque deciduo tropical de los Llanos Centrales de Venezuela contienen indistintamente en su biomasa Fn, TC, Sap, Cn y Alc, de los cuales los Fn y Alc presentan la más amplia distribución y requieren mayor atención en cuanto a sus posibles propiedades antinutricionales. La presencia de compuestos secundarios en *A. glomerosa*, *B. cumanensis* y *Cordia* sp. son afectados por la época y el tipo de bosque. En *A. macracantha* y *P. juliflora* no se observó un marcado efecto estacional; no obstante, el tipo de bosque y la localización de cada especie influyeron drásticamente en los resultados fitoquímicos.

LITERATURA CITADA

- Abdulrazak S. S., T. Fujihara, J. K. Ondiek y E. R. Ørskov. 2000. Nutritive evaluation of some Acacia tree leaves from Kenya. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 85: 89-98.
- Aerts R. J., T. N. Barry y W. C. McNabb. 1999. Polyphenols and agriculture: beneficial effect of proanthocyanidins in forages. *Agric., Ecosys. Environ.*, 75:1-12.
- Baldizán A. 2003. Producción de biomasa y nutrientes de la vegetación del bosque seco tropical y su utilización por rumiantes a pastoreo en los Llanos Centrales de Venezuela. Tesis de Doctor en Ciencias Agrícolas, Postgrado en Producción Animal. Facultades de Agronomía y Ciencias Veterinarias. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela.

- Brooks R. y N. Owen-Smith. 1994. Plant defenses against mammalian herbivores: are juvenile *Acacia* more heavily defended than mature trees? *Bothalia*, 24: 211-215.
- Cutler D. F. 1988. *Applied Plant Anatomy*. Longman. London & New York.
- Espinoza F. 1996. Producción, valor nutritivo y consumo de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit por ovinos en Maracay. Tesis de Maestría. Postgrado en Producción Animal. Facultades de Agronomía y Ciencias Veterinarias. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela.
- Galindo W., M. Rosales, E. Murgueitio y J. Larrahondo. 1989. Sustancias antinutricionales en las hojas de árboles forrajeros. *Livestock Res. Rural Develop.*, 1(1): Disponible online en: <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd1/1/mauricio.htm>
- García D. E. 2003. Evaluación de los principales factores que influyen en la composición fitoquímica de *Morus alba* (Linn.). Tesis de Maestría, EEPF "Indio Hatuey", Matanzas, Cuba.
- García D. E. 2004a. Principales factores antinutricionales de las leguminosas forrajeras y sus formas de cuantificación. *Pastos y Forrajes*, 27(2): 101-111.
- García D. E. 2004b. Los metabolitos secundarios de las especies vegetales. *Pastos y Forrajes*, 27: 1-12.
- García D. E., F. Ojeda e I. Montejo. 2003. Evaluación de los principales factores que influyen en la composición fitoquímica de *Morus alba* (Linn.). I Análisis cualitativo de metabolitos secundarios. *Pastos y Forrajes*, 26: 335-346.
- González E. y O. Cáceres. 2002. Valor nutritivo de árboles, arbustos y otras plantas forrajeras para los rumiantes. *Pastos y Forrajes*, 25: 15-19.
- Granado N. 1989. Dieta del venado caramerudo (*Odocoileus virginianus gymnotis*) en El Socorro, Guárico. Tesis de Grado. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela. Caracas..
- Kaitho R. J., N. N. Umunna, I. V. Nsahlai, S. Tamminga y J. Van Bruchem. 1997. Utilization of browse supplements with varying tannin levels by

- Ethiopian Menz sheep. I. Intake, digestibility and live weight changes. *Agrofor. Sys.*, 39: 145-149.
- Kumar R. 1992. Antinutritional factors. The potential risks of toxicity and the methods to alleviate them. En Speedy A.W. y P.L. Pugliese (Eds). *Legumes Trees and Other Fodder Trees as Protein Source for Livestock*. FAO Animal Production and Health Paper No. 102. pp. 145-160.
- Larbi A., J. W. Smith, A. M. Raji, I. O. Kurdi, I. O. Adekunle y P. Lapido. 1997. Seasonal dynamic in dry matter degradation of browse in cattle, sheep and goats. *Small Rum. Res.*, 25: 129-133.
- Makkar H. P. S. y K. Becker. 1998. Do tannins in leaves of trees and shrubs from Africa and Himalayan regions differ in level and activity? *Agrofor. Sys.*, 40(1): 59-68.
- Mamian L. V., M. T. Rodríguez, J. T. Muñoz y G. Varona. 2002. Efecto edáfico sobre la síntesis de metabolitos secundarios en *Clusia* sp., jardín botánico de Popayán, Cauca-Colombia. *Memorias VIII Congreso Latinoamericano y II Congreso Colombiano de Botánica*. Universidad Nacional de Colombia, Asociación Latinoamericana de Botánica y Asociación Colombiana de Botánica. Cartagena, Colombia.
- Metcalf C. y L. Chalk. 1979. *Anatomy of the Dicotyledons*. Vol. 1. 2da ed. Clarendon Press, Oxford.
- Mochiutti S. 1995. Comportamiento agronómico y calidad nutritiva de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp. bajo defoliación manual y pastoreo en el trópico húmedo. Tesis Magister Scientiarum. CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Pineda M. 2004. *Resúmenes de Fisiología Vegetal*. Servicios de publicaciones de la Universidad de Córdoba, Córdoba, España.
- Pinto R., H. Gómez, A. Hernández, F. Medina, B. Martínez, V.H. Aguilar, I. Villalobos, J. Nahed y J. Carmona. 2003. Preferencia ovina de árboles forrajeros del centro de Chiapas, México. *Pastos y Forrajes*, 26: 329-334.

- Pinto R., L. Ramírez, J.C. Kú-Vera y L. Ortega. 2002. Especies arbóreas y herbáceas forrajeras del sureste de México. *Pastos y Forrajes*, 25: 171-180.
- Rosales, M. 1998. Avance en el uso de la diversidad forrajera tropical para la alimentación de bovinos. En Clavero T. (Ed.) *Estrategias de Alimentación para la Ganadería Tropical*. Astro Data, pp. 89-90.
- Schwartz C. C., J. G. Nagy y R. Rice. 1977. Pronghorn diets relative to forage availability in Colorado. *J. Wildl. Manage.*, 41: 161-169.
- Sotelo A., E. Contrera y S. Flores. 1995. Nutritional value and content of antinutritional compounds and toxics in ten wild legumes of Yucatan Peninsula. *Plant Food*, 47:115-123.
- Varona G. 2006. Análisis cualitativo de metabolitos secundarios en ocho especies de Araceas del jardín botánico de Popayán. *Memorias VIII Congreso Latinoamericano y II Congreso Colombiano de Botánica*. Universidad Nacional de Colombia, Asociación Latinoamericana de Botánica y Asociación Colombiana de Botánica. Cartagena, Colombia.
- Virgüéz G. 1993. Estudio de tres especies forrajeras nativas de las zonas áridas de Venezuela utilizadas en la dieta de caprinos. Tesis de Maestría. Postgrado en Producción Animal. Facultades de Agronomía y Ciencias Veterinarias. Universidad Central de Venezuela. Maracay.
- Virgüéz G. y E. Chacón. 1996. Especies arbustivas de potencial forrajero utilizables por caprinos. Algunas experiencias del uso en Venezuela. I Curso "Manejo Alimentario de Ovinos y Caprinos a Pastoreo" Universidad Rómulo Gallegos, San Juan de Los Morros, Guarico. pp. 61-89.