

# Arboles y arbustos para la producción animal en el trópico Mexicano

**J.C. Ku Vera\***, **L. Ramírez Avilés\***, **G. Jiménez Ferrer\*\***, **J.A. Alayón\*\*** y **L. Ramírez Cancino\***

\*Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán, Apdo. Postal 4-116 Itzimmá, C.P. 97100 Mérida, Yucatán, México; Tel. +52 (99) 423200; Fax +52 (99) 42 32 05

Dirección electrónica: kuvera@sureste.com; raviles@tunku.uady.mx

\*\*ECOSUR, Periférico Sur s/n, C.P. 29290 San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México. Tel. +52 (967) 81883

Dirección electrónica: gjimenez@sclc.ecosur.mx

## I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de los sistemas ganaderos tradicionales extensivos en el trópico mexicano a partir de los años 40, se llevó a cabo a costa de la destrucción de grandes extensiones de bosques y selvas para abrir paso al monocultivo de pastos. Esto condujo a una severa reducción de la biodiversidad vegetal y animal. Los sistemas ganaderos extensivos han contribuido poco al desarrollo rural (alimentación, salud, educación); por ejemplo, es precisamente en el sur de México (Chiapas, Oaxaca, Yucatán) donde se observan los cuadros de desnutrición más severa entre la población rural infantil. La ganancia de peso en los sistemas de producción de rumiantes basados en el monocultivo de pastos es baja; en el sur del estado de Yucatán, la ganancia de peso en toros en crecimiento pastoreando *P. maximum* durante un año (1995) fue únicamente de 415 g/cabeza/día (J. Ku, resultados no publicados). Resultados similares fueron reportados por Jarillo y Ramírez (1997) en el mismo sitio con novillas, encontrando una ganancia de peso promedio de 450 g/cabeza/día

a través del año. Entre las diferentes alternativas disponibles para reducir el deterioro ambiental producido por el auge expansionista de la ganadería tradicional extensiva en el trópico mexicano, se tiene la implementación de prácticas de tipo agroforestal (e.g. silvopastoreo), que impulsan la integración de árboles y arbustos con la producción animal y que podrían dar la pauta para el desarrollo de sistemas de producción sustentables que no atenten contra el frágil equilibrio ecológico del trópico mexicano, y que inclusive pudieran mejorar el comportamiento animal (ganancia de peso, producción de leche) sin tener que depender de insumos externos. En México existen una gran variedad de especies de árboles y arbustivas que tienen potencial para ser incorporadas en los sistemas de producción de rumiantes en el trópico (Topps, 1992; Sotelo, Contreras y Flores, 1995; Toledo *et al.* 1995; Soto *et al.*, 1997), las cuales podrían introducir elementos de sostenibilidad en los sistemas ganaderos actuales (Enkerlin *et al.*, 1997) al hacerlos menos dependientes de insumos externos (concentrados energéticos y proteicos) que tienen que ser adquiridos a un costo elevado para la finca (Loker, 1994). Por ejemplo, el árbol de *B. alicastrum* se encuentra presente en una proporción considerable de los patios de las casas en la zona rural y urbana del estado de Yucatán, México, y su uso como forraje de corte está ampliamente difundido desde hace muchos años. El uso de árboles y arbustos en los sistemas de producción animal tropical tiene varias ventajas entre ellas sus múltiples usos. Pueden ser empleados como cerco vivo (e.g. *G. sepium*, *Jatropha curcas*), como sombra (e.g. *Enterolobium cyclocarpum*, *B. alicastrum*, etc.), leña, con propósitos ornamentales, etc. El presente trabajo pretende discutir algunos aspectos del valor nutritivo de varias especies de árboles y arbustos de uso múltiple que tienen potencial para ser empleados en los sistemas de producción de rumiantes en el trópico mexicano.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### Experimentos con ovinos

Se realizaron tres experimentos con borregos Pelibuey de aproximadamente 35 kg de peso vivo fistulados en el rumen con cánulas de plastisol de 7.5 cm de diámetro interno. Los borregos fueron alimentados *ad libitum* en todos los experimentos y alojados en jaulas

metabólicas individuales para la separación de las heces y la orina. En el experimento 1, los borregos fueron alimentados con una ración basal de heno de pasto estrella de Africa (*Cynodon nlemfuensis*; 4.3% PC y 69.4% FDN) y se incorporaron cuatro niveles (0, 10, 20 y 30% base seca) de follaje seco de *G. sepium*. En el experimento 2, los borregos fueron alimentados con una ración basal de heno de pasto guinea (*Panicum maximum*; 5.6% PC y 80.0% FDN) y se incorporaron cuatro niveles (0, 15, 30 y 45% base seca) del follaje seco de *B. alicastrum*. En el experimento 3, la dieta basal fue de heno de pasto taiwán (*Pennisetum purpureum*; 4.0% PC y 78.2% FDN) y se incorporó un nivel fijo (30% en base seca) de la ración como follaje seco de *B. alicastrum*, *G. ulmifolia* o *E. tinifolia*. En este último experimento las raciones fueron isonitrogenadas con urea (mezclada con 78 g de melaza de caña) y se suplementó a razón de 10 g/kg<sup>0.75</sup>/día de maíz molido. El follaje de *B. alicastrum* fue cosechado en San José Tzal, Yucatán y el de *G. ulmifolia* y *E. tinifolia* en Tzucacab, Yucatán. El follaje de los árboles en los tres experimentos fue secado al sol y posteriormente molido en un molino de martillos. En los experimentos se midieron una o varias de las siguientes variables de respuesta: consumo voluntario de diferentes componentes del alimento (MS, materia orgánica [MO], proteína cruda [PC], fibra detergente neutro [FDN]), digestibilidad aparente *in vivo*, tasa y extensión de la digestión ruminal *in situ*, aporte de nitrógeno (N) microbiano al intestino delgado con la técnica de los derivados de purinas en orina, cinética de líquidos (PEG) y sólidos (fibra mordantada con Cr), concentración de NH<sub>3</sub> y pH en el líquido ruminal y el patrón de fermentación ruminal. El consumo voluntario se midió como la diferencia entre el alimento ofrecido y rechazado al día siguiente. La digestibilidad aparente *in vivo* se midió por medio de la técnica de recolección total de heces. La tasa y extensión de la digestión ruminal se midió con la técnica de la bolsa de fibra artificial (Orskov, Hovell y Mould, 1980). El aporte de nitrógeno microbiano al intestino delgado se estimó con la técnica de derivados de purinas en orina descrita por Chen *et al.* (1990) empleando el modelo  $Y = 0.84 X + (0.150 PV^{0.75} e^{-0.25X})$ . La cinética de líquidos se estimó con el marcador de fase líquida polietilenglicol 4000 (Ferreiro, 1990) y la tasa de pasaje de sólidos con fibra mordantada con Cr

siguiendo los procedimientos descritos por Udén, Colucci y van Soest (1980). Se empleó el modelo de dos compartimientos ( $Y = Ae^{-k_1(t-TT)} - Ae^{-k_2(t-TT)}$ ;  $t$ ;  $TT$ ) sugerido por Grovum y Williams (1973) para estimar la tasa de pasaje por el rumen ( $k_1$ ) y la tasa de pasaje por el ciego y colon proximal ( $k_2$ ). La concentración de  $NH_3$  en el líquido ruminal se determinó con un electrodo de ion específico. La proporción molar de los ácidos grasos volátiles (AGV $\approx$ ) en el líquido ruminal se determinó con un cromatógrafo de gases. Los tres experimentos fueron en diseño de cuadro latino 4 X 4.

### Experimento con bovinos

En el experimento 4, se utilizaron cuatro toros cruzados (*Bos indicus* X *Bos taurus*) de 300 kg de peso vivo fistulados en el rumen con cánulas de plastisol de 10 cm de diámetro interno. Los toros estuvieron en pastoreo de *C. nlemfuensis* en una unidad de producción bovina ejidal (El Herradero) en el municipio de Simojovel, Chiapas, donde con un enfoque de investigación participativa, los socios ganaderos de diversas comunidades Maya-Tzotziles tomaron parte en las diferentes etapas del estudio. Se evaluó la digestión ruminal de la MS por medio de la técnica de la bolsa de fibra artificial de las siguientes especies de árboles y arbustos forrajeros usados por productores ganaderos indígenas: *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia*, *Thitonia longiradiata*, *Erythrina mexicana*, *Cassia spectabilis*, *Gliricidia sepium* y *Calliandra houstoniana*. Las bolsas de digestión ruminal (10 X 20 cm; 53 mm de poro) se incubaron en bolsas grandes de corsetería dentro del rumen (6, 12, 24, 48, 72 y 96 h) y fueron retiradas al mismo tiempo y lavadas en una lavadora (5 ciclos) hasta que el agua de lavado salió clara. Las bolsas se secaron en una estufa de aire forzado a 60°C durante 72 h. La desaparición de la materia seca, materia orgánica o proteína cruda fueron calculadas como la diferencia entre el material incubado y el material residual. Los resultados de desaparición ruminal fueron incorporados al modelo  $p = a+b(1-\exp^{-ct})$  propuesto por Orskov y McDonald (1979) para estimar la tasa y extensión de la digestión ruminal de los diferentes componentes del follaje.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Composición química

La composición química de algunas de las especies de árboles y arbustos disponibles para la alimentación de rumiantes en el sur de México se muestra en el Cuadro 1. Todas las pruebas de alimentación fueron realizadas con follaje secado al sol.

**Cuadro 1: Composición química (%) de algunas especies de árboles y arbustos presentes en el sur de México.**

	MO	PC	FDN	FDA
<i>B. alicastrum</i> *	90.4	15.7	37.5	28.5
<i>B. alicastrum</i> *	77.0	14.8	40.4	28.9
<i>G. ulmifolia</i> *	77.5	18.1	45.1	28.9
<i>E. tinifolia</i> *	79.6	15.7	65.7	45.8
<i>G. sepium</i> *	91.5	19.3	35.7	21.8
<i>T. longiradiata</i> **	85.8	23.6	44.5	32.7
<i>L. leucocephala</i> **	91.9	18.6	34.6	18.2
<i>E. mexicana</i> **	92.2	12.4	50.6	32.4
<i>C. houstoniana</i> **	90.2	12.9	48.4	35.6
<i>C. spectabilis</i> **	94.5	15.2	41.4	20.7
<i>G. ulmifolia</i> **	93.4	9.5	47.0	31.8
<i>G. sepium</i> **	95.0	13.5	41.1	20.0

\* Cosechadas en Yucatán.

\*\* Cosechadas en Chiapas.

En términos generales los árboles forrajeros tienen una concentración aceptable de proteína cruda por lo que el follaje puede ser cultivado y empleado como suplemento en épocas de escasez de forraje (sequía) en la finca. El Cuadro 1 muestra que la concentración de proteína cruda en *B. alicastrum* es de alrededor de 15%, y tiene una baja concentración de FDN. La concentración de FDN y FDA en *E. tinifolia* es relativamente alta comparada con la de las otras especies forrajeras. *T. longiradiata* (cosechada en Chiapas, México) tiene un excelente nivel de proteína cruda, sin embargo la concentración de proteína en *L. leucocephala* parece ser relativamente baja comparada con la concentración presente en las

variedades de la Península de Yucatán. Cabe resaltar, la baja concentración de proteína cruda de *G. ulmifolia* cosechada en Chiapas comparada con la *G. ulmifolia* cosechada en Yucatán, así como entre la *G. sepium* originaria de Chiapas y la *G. sepium* de Yucatán, lo que sugiere variación en la composición química debido a sitio, edad del árbol, etc. La mayoría de las especies estudiadas tiene una concentración relativamente baja de fibra detergente neutro, con excepción de *E. tinifolia*.

### Consumo voluntario

El consumo voluntario es uno de los mejores indicadores del valor nutritivo de un alimento para rumiantes (Minson, 1990). La incorporación de niveles crecientes del follaje de especies arbóreas (*G. sepium*; *B. alicastrum*) incrementó el consumo voluntario de materia seca (CVMS) y de materia orgánica (CVMO) en ovinos Pelibuey (Cuadro 2). El incremento en el CVMS no se debió a una mejora en la tasa o extensión de la digestión ruminal de la ración basal de pasto tropical (*C nlemfuensis* o *P. maximum*; Cuadro 5) como resultado de un mejor ambiente ( $\text{NH}_3$ ) y cinética ruminal (tasa de pasaje), sino más bien a la alta digestión ruminal de la materia orgánica de las especies arbóreas *per se* (Cuadro 4), la cual era fermentada extensamente en el rumen e inducía un mayor consumo de alimento por los animales. El follaje de *B. alicastrum*, *G. sepium* o *G. ulmifolia* es apetecido y consumido sin problemas por el ganado. El incremento observado en el CVMS indica que la incorporación de especies arbóreas autóctonas, representa una buena alternativa para mejorar el comportamiento animal, al incrementarse el consumo de materia orgánica que es fermentada en el rumen. No obstante, es probable que el follaje de árboles tenga que ir acompañado de una fuente de energía de rápida disponibilidad ruminal para maximizar la síntesis de proteína microbiana en el rumen (Sauvant y van Milgen, 1995). Por ejemplo, Pérez, Zapata y Sosa (1995) trabajando en Chetumal, México, reportaron una ganancia de peso de sólo 45 g/cabeza/día en ovinos (Pelibuey y Blackbelly) alimentados exclusivamente con forraje de *B. alicastrum*, mientras que cuando se ofreció *B. alicastrum* junto con maíz molido, la ganancia de peso se incrementó hasta 75 g/cabeza/día, es posible que la incorporación del maíz en este experimento resultara en una mayor

síntesis de proteína microbiana en el rumen con una probable mejoría en la digestión ruminal y el consumo voluntario. No obstante, es importante encontrar el nivel de incorporación del follaje donde el consumo voluntario alcanza su nivel máximo. En el experimento 3 no se detectaron diferencias significativas en el consumo de MS o MO entre tratamientos, sin embargo existió una tendencia hacia un mayor consumo cuando el *P. purpureum* fue suplementado con follaje de árboles (*B. alicastrum* y *G. ulmifolia*).

**Cuadro 2: Consumo voluntario de MS y MO (g/borrego/día) en ovinos Pelibuey alimentados con niveles crecientes de *G. sepium* o *B. alicastrum*.**

	Estrella	Estrella+10 % <i>Gliricidia</i>	Estrella + 20% <i>Gliricidia</i>	Estrella +30% <i>Gliricidia</i>	E.E
Consumo MS	678.3	707.2	950.1	1039.6	92.4P<0.01
Consumo MO	606.9	627.1	836.1	921.3	80.4P<0.01
	Guinea	Guinea + 15% <i>Brosimum</i>	Guinea + 30% <i>Brosimum</i>	Guinea +45% <i>Brosimum</i>	E.E
Consumo MS	511.0	848.0	1106.0	1313.0	106.0P<0.01
Consumo MO	464.0	758.0	1032.0	1191.0	80.0P<0.01
	Taiwán	Taiwán +30% <i>Brosimum</i>	Taiwán +30% <i>Guazuma</i>	Taiwán +30% <i>Ehretia</i>	E.E
Consumo MS	809.0	1014.0	923.0	846.0	61.1NS
Consumo MO	771.0	949.0	870.0	771.0	70.2NS

Adaptado de: Valdivia y Ku, (1996); Ramírez y Ku, (1997); Alayón *et al.*, (1998).

### Tasa y extensión de la digestión ruminal

Los estudios de digestión *in situ* representan una técnica rápida y poderosa para caracterizar el valor potencial de un alimento para los rumiantes (Orskov, Hovell y Mould, 1980; Mertens, 1993). Algunos de los resultados de digestión ruminal obtenidos con especies de árboles y arbustos en nuestra facultad se muestran a continuación.

El Cuadro 3 indica que la extensión de la digestión ruminal de la MS de *C. houstoniana* es muy baja, lo que podría limitar su uso como una especie a ser empleada en la alimentación de los rumiantes. Larbi *et al.* (1996) reportaron un rango de 50 a 83% para la extensión de la digestión ruminal de la MS de siete especies (20 variedades) de *Erythrina* en

Africa, sin embargo, la digestión ruminal de *E. mexicana* (53.78%) está en el rango inferior reportado por los autores arriba mencionados. Por otro lado, el follaje de *T. longiradiata* tiene una excelente digestión ruminal lo cual sugiere un buen potencial para ser empleada en la alimentación animal. Se requiere de mayor información en relación al consumo voluntario de estas especies arbóreas para evaluar su potencial real para la producción animal. Estos estudios han sido complementados con la medición de la concentración de  $\text{NH}_3$  en el rumen y durante este año (1998) se realizarán mediciones de la producción de gas *in vitro* con las mismas especies.

**Cuadro 3: Tasa y extensión de la digestión ruminal de la MS de árboles y arbustos presentes en Simojovel, Chiapas.**

	Tasa de digestión(h)	Extensión de digestión(%)
<i>L. leucocephala</i>	0.023	73.27
<i>T. longiradiata</i>	0.051	93.62
<i>E. mexicana</i>	0.069	53.78
<i>G. ulmifolia</i>	0.028	70.43
<i>C. houstoniana</i>	0.022	38.55
<i>C. spectabilis</i>	0.081	76.12
<i>G. sepium</i>	0.056	73.25

Fuente: G. Jiménez, resultados no publicados.

El Cuadro 4 indica claramente que la extensión de la digestión ruminal de la PC de *B. alicastrum*, *G. sepium* y *G. ulmifolia* es alta, lo que resulta en un incremento en la concentración de  $\text{NH}_3$  en el rumen, estimulando probablemente la síntesis de proteína por la población microbiana y el aporte de nitrógeno (N) microbiano al intestino delgado (Cuadro 7). Estas tres especies representan una excelente fuente de proteína cruda durante la estación de seca para los rumiantes en el sur de México. El follaje de *B. alicastrum* se emplea desde hace muchos años como alimento para ganado lechero y de carne en Yucatán y puede ser adquirido en las forrajeras la mayor parte del año. Por otro lado, el suministro de proteína de *E. tinifolia* al rumen es baja debido a la limitada digestión ruminal de la PC de esta especie.



**Cuadro 4: Tasa y extensión de la digestión ruminal de MS, MO y PC de árboles forrajeros disponibles en Yucatán.**

Especie	Materia seca		Materia orgánica		Proteína cruda	
	Tasa (/h)	Extensión (%)	Tasa (/h)	Extensión (%)	Tasa (/h)	Extensión (%)
<i>B. alicastrum</i> *	0.105	86.85	0.105	86.62	0.113	95.19
<i>B. alicastrum</i> +	0.059	88.30	0.049	90.70	0.057	93.30
<i>G. ulmifolia</i> +	0.051	70.80	0.050	69.40	0.045	83.60
<i>E. tinifolia</i> +	0.019	39.40	0.021	27.50	0.140	45.50
<i>G. sepium</i> #	0.106	91.21	0.096	87.77	0.120	94.50

\*Valdivia y Ku (1996)

+Ramírez y Ku (1997)

#Alayón *et al.*(1998)

No debe de descartarse la posible presencia de algún factor antinutricional (e.g. taninos) en *E. tinifolia* que pudiera limitar la digestión ruminal de la proteína cruda, aunque esto no ha sido explorado a la fecha en el laboratorio. Esta última especie no parece tener mucho potencial para ser empleada en la alimentación práctica de los rumiantes a nivel de finca, dada la baja digestión ruminal de la PC de la misma. La solubilidad (tiempo cero) de la PC corregida para escape de partículas pequeñas de la bolsa (López *et al.*, 1994) para *B. alicastrum*, *G. ulmifolia* y *E. tinifolia* fue de 22.4, 17.3 y 21.4% y la extensión de la digestión ruminal de la FDN fue de 79.7, 52.2 y 18.5% respectivamente. Es evidente la alta fermentación ruminal de la fibra de *B. alicastrum* y la muy baja fermentación ruminal de la fibra de *E. tinifolia*. El acuerdo en la extensión de la digestión ruminal de la PC del *B. alicastrum* en los experimentos de Valdivia y Ku (1996) y en el de Ramírez y Ku (1997) es excelente (Cuadro 4). Lo mismo se aplica para la extensión de la digestión ruminal de la MS de la *G. ulmifolia* evaluada por G. Jiménez (resultados no publicados) en Chiapas (Cuadro 3) y aquella evaluada por Ramírez y Ku (1997; Cuadro 4) en Yucatán. Es evidente que el follaje de *B. alicastrum* proporciona MO altamente fermentable al rumen, la extensión de la digestión ruminal de la MO del *B. alicastrum* fue de 86.6%.

## Efecto de los árboles forrajeros sobre la extensión de la digestión ruminal (%) de los pastos tropicales de baja calidad

La posibilidad de incrementar el consumo voluntario y la digestión ruminal de pastos tropicales por medio de la suplementación con follaje de árboles y arbustos de buena calidad, es un aspecto de gran relevancia práctica. El Cuadro 5 resume los resultados obtenidos, cuando se incubaron en el rumen, muestras de pastos tropicales en ovinos que fueron suplementados con follaje de buena calidad provenientes de árboles.

**Cuadro 5: Efecto de la incorporación de niveles crecientes de follaje de árboles forrajeros sobre la extensión de la digestión ruminal (MS) de los pastos Estrella y Guinea en ovinos Pelibuey.**

	Estrella	Estrella+10% <i>Gliricidia</i>	Estrella+20 <i>Gliricidia</i>	Estrella+30% <i>Gliricidia</i>
Extensión de la digestión(%)	63.8	65.4	64.4	64.7
	Guinea	Guinea +15% <i>Brosimum</i>	Guinea +30% <i>Brosimum</i>	Guinea +45% <i>Brosimum</i>
Extensión de la digestión(%)	41.5	40.6	39.9	38.6

Adaptado de: Alayón *et al.*, (1998); y Valdivia y Ku, (1996).

El Cuadro 5 muestra que la incorporación de niveles crecientes de árboles forrajeros en una ración basal de pasto tropical de muy baja calidad (4-5% PC; 80% FDN) no tuvo un efecto positivo sobre la extensión de la digestión ruminal de la MS del pasto; lo que indica, que el incremento registrado en el consumo voluntario de alimento cuando el follaje de árboles fue incluido en la ración se debió fundamentalmente a la alta tasa y extensión de la digestión ruminal de los árboles *per se* y no a una mejora en la digestión ruminal de la ración basal. Estos resultados demuestran que es difícil catalizar la digestión ruminal de gramíneas de muy baja calidad a través de la suplementación con follaje de árboles o arbustos. El alto contenido de paredes celulares del pasto de baja calidad, aunado a la lignificación de la pared celular, se convirtieron quizás en severas

limitantes para el mejoramiento de la digestión ruminal de la ración basal. Asimismo, es probable que el suministro de nitrógeno ( $\text{NH}_3$ ) de alta degradabilidad ruminal proveniente de la fermentación del follaje arbóreo deba de ir acompañado de una fuente de energía rápidamente disponible (Sauvant y van Milgen, 1995) para lograr modificar positivamente la digestión de la ración basal.

### **Concentración de $\text{NH}_3$ en el líquido ruminal**

El Cuadro 6 muestra que la incorporación de *G. sepium* y *B. alicastrum* en la ración de borregos Pelibuey incrementó significativamente la concentración de  $\text{NH}_3$  en el rumen sobre el tratamiento control (sólo pasto), lo que indica que la extensión de la digestión de la PC de ambas especies es alta (Cuadro 4). La concentración de  $\text{NH}_3$  en todos los tratamientos con incorporación de árboles forrajeros, estuvo por encima de la concentración sugerida por Satter y Slyter (1974) como apropiada para una buena fermentación del alimento consumido por los rumiantes. En el Experimento 3 sin embargo, la mayor concentración de  $\text{NH}_3$  ruminal se observó en el tratamiento control (sin suplementación con arbóreas), no obstante, debe de recordarse que en este experimento los tratamientos fueron isonitrogenados con urea lo cual pudo haber cancelado el efecto de la suplementación con follaje arbóreo, con respecto al tratamiento control. Otra explicación para esto, es que es posible que el suministro de maíz molido en el tratamiento control (sin follaje arbóreo), haya determinado un mayor reciclaje de urea al rumen como ha sido sugerido por algunos autores (Obara *et al.*, 1991).

### **Aporte de N microbiano al intestino delgado**

En rumiantes alimentados con forrajes tropicales la principal fuente de proteína para la producción animal proviene de aquella sintetizada por los microorganismos del rumen. Es por esto que es de suma importancia maximizar la cantidad de proteína microbiana que puede ser sintetizada por unidad (kg) de materia orgánica fermentada en el rumen, para así poder proveer al animal hospedero de la cantidad requerida de proteína microbiana en el intestino delgado que cubra sus requerimientos de

mantenimiento y de producción. El Cuadro 7 muestra algunos de los resultados obtenidos en relación al aporte de N microbiano al duodeno en ovinos suplementados con árboles forrajeros.

**Cuadro 6: Concentración de NH<sub>3</sub> (mg/100 ml) en el líquido ruminal de ovinos alimentados con árboles forrajeros de Yucatán.**

	Estrella	Estrella+10% <i>Gliricidia</i>	Estrella+20% <i>Gliricidia</i>	Estrella+30% <i>Gliricidia</i>
NH <sub>3</sub> ruminal (mg/100 ml)	6.84	9.0	10.7	12.3
	Guinea	Guinea +15% <i>Brosimum</i>	Guinea +30% <i>Brosimum</i>	Guinea +45% <i>Brosimum</i>
NH <sub>3</sub> ruminal (mg/100 ml)	6.58	10.3	11.2	17.1
	Taiwán	Taiwán +30% <i>Brosimum</i>	Taiwán +30% <i>Guazuma</i>	Taiwán +30% <i>Ehretia</i>
NH <sub>3</sub> ruminal (mg/100 ml)	17.0	15.7	12.3	13.7

Adaptado de: Alayón *et al.*, (1998); Valdivia y Ku (1996) y Ramírez y Ku, (1997).

**Cuadro 7: Aporte de N microbiano (g/d) al intestino delgado en ovinos Pelibuey alimentados con follaje de especies arbóreas disponibles en Yucatán.**

	Estrella	Estrella+10% <i>Gliricidia</i>	Estrella+20% <i>Gliricidia</i>	Estrella+30% <i>Gliricidia</i>
Aporte N microbiano al intestino (g/d)	4.9	5.4	8.4	9.6
	Guinea	Guinea +15% <i>Brosimum</i>	Guinea +30% <i>Brosimum</i>	Guinea +45% <i>Brosimum</i>
Aporte N microbiano al intestino (g/d)	2.2	4.9	7.9	9.7
	Taiwán	Taiwán +30% <i>Brosimum</i>	Taiwán +30% <i>Guazuma</i>	Taiwán +30% <i>Ehretia</i>
Aporte N microbiano al intestino (g/d)	6.6	6.5	5.5	5.7

Adaptado de: Alayón *et al.*, (1998); Valdivia y Ku, (1996) y Ramírez y Ku, (1997).

El Cuadro 7 indica que conforme se incrementaron los niveles de follaje de *G. sepium* y de *B. alicastrum* en la ración basal de pasto tropical de baja calidad (estrella o guinea), el aporte de N microbiano al intestino delgado de los borregos se incrementó linealmente, lo cual sugiere que la proteína cruda de las especies arbóreas estaba siendo utilizada a nivel ruminal para la síntesis de proteína microbiana. El incremento observado en la concentración de  $\text{NH}_3$  ruminal conforme el nivel de follaje de árboles aumentó ayuda a soportar esta teoría. No obstante en el Experimento 3 el suministro de un nivel fijo de follaje arbóreo no mejoró el aporte de N microbiano al intestino delgado en relación a la ración control, aunque es necesario apuntar que en este experimento las raciones fueron isonitrogenadas con urea, lo cual pudo haber determinado una mayor disponibilidad de N soluble para la población microbiana ruminal (en el tratamiento control), cancelando así los efectos (positivos) esperados con la incorporación de las especies arbóreas.

### **Patrón de fermentación**

La proporción molar de los ácidos grasos volátiles en el líquido ruminal (patrón de fermentación) representa un indicador del tipo de sustrato energético ( $\text{C}_2$ ,  $\text{C}_3$  o  $\text{C}_4$ ) que estará disponible a nivel metabólico para las funciones de mantenimiento y síntesis (proteína, grasa) en el animal. En raciones basadas en forrajes tiende a predominar un nivel alto de ácido acético en el líquido ruminal, mientras que en raciones con niveles altos de granos la proporción molar del ácido propiónico tiende a elevarse. El Cuadro 8 muestra el patrón de fermentación en el líquido ruminal de borregos Pelibueya a los que se les proporcionó niveles crecientes de *B. alicastrum*.

Como era de esperarse, no se encontraron diferencias sustanciales en la proporción molar de los tres principales ácidos grasos volátiles en el líquido ruminal de ovinos alimentados con diferentes niveles de *B. alicastrum* en la ración. El ácido acético predominó en el rumen, con proporciones bajas de los ácidos propiónico y butírico. Por medio del balance de fermentación propuesto por Hungate (1966), se calculó la eficiencia de retención de la energía de la glucosa fermentada en el rumen

a energía en los AGV<sub>s</sub>, este valor se mantuvo constante en alrededor de 71-72% en todos los tratamientos con o sin incorporación de *B.*

*alicastrum*. Se sabe que cuando se incorporan concentrados en la ración, la eficiencia de conversión de glucosa a AGV<sub>s</sub> puede llegar hasta valores de 80-82% (Orskov, Flatt y Moe, 1968), lo cual tiende a mejorar la eficiencia de utilización de la energía metabolizable.

**Cuadro 8: Proporción molar (mmoles/100 mmoles) de ácidos acético, propiónico y butírico en el líquido ruminal de ovinos alimentados con niveles crecientes de *B. alicastrum* suplementado a una ración basal de pasto guinea (*P. maximum*) de baja calidad.**

	Nivel de incorporación de <i>B. alicastrum</i> en la ración (% base seca)			
	0	15	30	45
Acido acético	74.8	73.1	73.4	72.2
Acido propiónico	16.2	17.7	16.4	16.0
Acido butírico	7.0	7.2	7.9	8.6

Adaptado de: Valdivia y Ku, (1996).

### Tasa de pasaje de líquidos y sólidos

En el Cuadro 9 se observa que la tasa de pasaje de líquidos y sólidos por el rumen se incrementó linealmente conforme se aumentó el nivel de incorporación de *B. alicastrum* en la ración. Situación inversa ocurrió con el tiempo de retención de la digesta en el rumen y en el intestino grueso. La mayor tasa de pasaje de sólidos por el rumen permitió a los animales consumir una mayor cantidad de MS a través de un vaciado más rápido de este órgano. Asimismo, se puede observar que la tasa de recambio del rumen y el flujo de líquidos se incrementaron conforme se aumentó el nivel de incorporación del *B. alicastrum* en la ración. Otros autores (Bonsi *et al.*, 1994), han reportado un incremento en la tasa de pasaje por el rumen en respuesta a la suplementación con follaje de *Sesbania sesban* y *L. leucocephala* en ovinos alimentados con rastrojo de baja calidad. Es importante recordar que a mayor tasa de pasaje por el rumen la eficiencia de síntesis microbiana en el rumen tiende a mejorarse debido al menor requerimiento de nutrientes (energía) para el mantenimiento y crecimiento de la población microbiana ruminal (Harrison y McAllan, 1980).

**Cuadro 9: Cinética de la digesta sólida y líquida en ovinos Pelibuey alimentados con niveles crecientes de *B. alicastrum* incorporados a una ración basal de pasto guinea (*P. maximum*) de baja calidad.**

	Nivel de incorporación de <i>B. alicastrum</i> en la ración (% BS)				Efecto lineal
	0	15	30	45	
<i>k</i> 1 (%/h)	1.47	2.75	2.80	4.12	***
<i>k</i> 2 (%/h)	3.85	7.25	6.30	7.60	*
TRR (h)	68.02	36.36	35.74	24.27	**
TRCCP (h)	25.97	13.79	15.87	13.15	*
Flujo de líquidos (l/h)	0.98	1.03	1.59	2.46	**
Tasa de recambio de líquidos (veces/d)	2.15	2.73	3.49	4.78	**

*k*1 = Tasa de pasaje por el rumen.

*k*2 = Tasa de pasaje por el ciego y colon proximal.

TRR = Tiempo de retención en el rumen.

TRCCP = Tiempo de retención en el ciego y colon proximal.

Adaptado de: Valdivia y Ku, (1996).

## Digestibilidad aparente *in vivo* de MS y MO

**Cuadro 10: Digestibilidad aparente *in vivo* (%) de la MS y MO en borregos Pelibuey suplementados con follaje de árboles y arbustos disponibles en Yucatán.**

	Estrella	Estrella +10% <i>Gliricidia</i>	Estrella +20% <i>Gliricidia</i>	Estrella + 30% <i>Gliricidia</i>
DigestibilidadnMS	43.7	45.6	47.9	50.7
Digestibilidad MO	48.4	48.8	52.3	54.7
	Guinea	Guinea +15% <i>Brosimum</i>	Guinea +30% <i>Brosimum</i>	Guinea +45% <i>Brosimum</i>
Digestibilidad MS	35.7	45.1	46.9	49.6
Digestibilidad MO	40.5	49.2	49.4	52.0
	Taiwán	Taiwán +30% <i>Brosimum</i>	Taiwán +30% <i>Guazuma</i>	Taiwán +30% Ehreti
Digestibilidad MS	37.2	46.8	41.3	33.6
Digestibilidad MO	44.3	53.7	50.6	41.1

Adaptado de: Alayón *et al.*, (1998); Valdivia y Ku, (1996) y Ramírez y Ku, (1997).

El Cuadro 10 muestra que la incorporación del follaje de *G. sepium* y *B. alicastrum* mejoraron la digestibilidad aparente de la MS de la ración total proporcionada a los borregos. La mejora en la digestibilidad aparente con la incorporación de follaje arbóreo se debe probablemente a la alta tasa y extensión de la digestión ruminal (MS, MO) de las especies arbóreas *per se*. En la FMVZ-UADY en Mérida, también se han empleado técnicas de digestibilidad *in vitro* (Tilley y Terry, 1963) para estudiar el valor nutritivo de los árboles y arbustos forrajeros autóctonos. La digestibilidad *in vitro* de la MS del follaje de *G. sepium* y *B. alicastrum* fue de 74.2 y 61.3% respectivamente (I. Armendáriz, J. Solorio y J. Ku; resultados no publicados), siendo valores más altos que los encontrados en el nivel superior de incorporación (30 y 45%) de follaje en los experimentos 1 y 2 de este trabajo. En el Experimento 3 la incorporación de *B. alicastrum* y *G. ulmifolia* mejoró la digestibilidad de la ración total, aunque la incorporación de *E. tinifolia* redujo la digestibilidad aparente de la MS de la ración, por debajo del valor observado para el tratamiento control de sólo pasto *P. purpureum* de baja calidad, esto se pudo deber a la presencia de algún factor antinutricional (taninos) o a la elevada concentración de paredes celulares en el follaje de *E. tinifolia*. La digestibilidad *in vitro* de la MS del follaje de *G. ulmifolia* fue de 37.9% (I. Armendáriz, J. Solorio y J. Ku; resultados no publicados), un resultado comparable al valor de 41.3% (con 30% de incorporación de *G. ulmifolia*) reportado en este trabajo (Experimento 3). Yerena *et al.* (1978) reportaron la digestibilidad aparente *in vivo* de la MS del *B. alicastrum* de 67.1%. Sin embargo, Figueras (1949) encontró un valor de digestibilidad aparente más bajo para la MS del *B. alicastrum* (55.4%). La técnica de digestibilidad *in vitro* en dos etapas (Tilley y Terry, 1963), representa una alternativa rápida y económica para conocer el valor nutritivo de las especies de árboles y arbustos (Sotelo, Contreras y Flores, 1995) disponibles para los rumiantes en el trópico.

#### IV. COMENTARIOS FINALES

El mecanismo de acción del follaje de árboles y arbustos a nivel ruminal puede describirse como sigue: el consumo voluntario de MS y MO en rumiantes se incrementa cuando se suplementa con follaje de árboles y



arbustos debido a la alta tasa y extensión de la digestión ruminal del follaje *per se* y no a una mejora en la digestión ruminal de la ración basal (pasto). Debido al incremento en el consumo voluntario de MS, la tasa de pasaje del rumen (e.g.  $k_1$ , flujo de líquidos) se incrementa, induciendo una salida mayor de digesta y dando lugar a un mayor espacio físico en el rumen, lo que provoca el estímulo para el consumo de alimento. El aumento en la cinética ruminal podría incrementar la eficiencia de síntesis de proteína microbiana en el rumen, lo que puede a su vez reflejarse en un mayor aporte de N microbiano al intestino delgado. La proteína cruda contenida en el follaje de *G. sepium*, *B. alicastrum* y *G. ulmifolia* es fermentada extensamente en el rumen, lo que induce un aumento en la concentración de  $\text{NH}_3$  en este órgano. El  $\text{NH}_3$  en el rumen es usado para crecimiento de la población microbiana y esto puede dar lugar a un incremento en el aporte de N microbiano al intestino delgado. La incorporación del follaje de árboles y arbustos mejora la digestibilidad aparente de la ración total. El follaje de *E. tinifolia* no ofrece buenas características forrajeras para la alimentación de los rumiantes. La técnica de digestión *in situ* representa una herramienta rápida y poderosa para caracterizar el potencial nutritivo de las especies arbóreas como se infiere del estudio con bovinos realizado en un rancho ejidal en Simojovel, Chiapas; donde se pudieron distinguir con claridad las diferencias en la extensión de digestión ruminal de la MS entre especies de árboles y arbustos. Se requiere de más investigación para diseñar sistemas de alimentación donde diferentes árboles o arbustos puedan incorporarse a la ración dependiendo de la disponibilidad, estación, costo, valor nutritivo relativo, etc., sin afectar el comportamiento productivo de los animales. Para esto será necesario conocer el valor de sustitución (intercambio) entre árboles. Bajo situaciones donde existe disponibilidad de varios árboles para la alimentación animal, sería interesante evaluar el efecto de la alimentación de mezclas de diferentes árboles sobre la digestión ruminal y el suministro de nutrientes críticos al rumen ( $\text{NH}_3$ , minerales, azufre) y al intestino delgado (amino ácidos). La selectividad ejercida por los rumiantes durante el ramoneo, es un área que merece también atención; por ejemplo, L. Ortega (comunicación personal) encontró que los bovinos (canulados en el esófago) que se encontraban ramoneando en

selva baja (y árboles intercalados de cedro y *B. alicastrum*) en Mocoohá, Yucatán, eran capaces de consumir una dieta con un 14% de PC durante la estación de seca. Esto podría indicar que los bovinos ramoneando en selva baja equilibran su ración de acuerdo a sus requerimientos y a la disponibilidad de alimento (frutos, hojas, tallos tiernos, etc) en el área asignada. El trabajo de investigación sobre árboles y arbustos en la FMVZ-UADY en Mérida, está encaminado a identificar las especies más apropiadas nutricionalmente para ser empleadas en la alimentación de los rumiantes, las cuales tendrían potencial para ser introducidas en la finca. Actualmente se está realizando un experimento en Villaflores, Chiapas, con incorporación de follaje de *G. sepium* en raciones para toros en pastoreo de *C. nlemfuensis* midiendo el consumo voluntario, la tasa de pasaje, la degradación *in situ* y el aporte de N microbiano al intestino delgado. Metodologías más novedosas -como la técnica de producción de gas *in vitro*- ya fueron implementadas en la FMVZ-UADY, México, para complementar los estudios aquí descritos. No obstante, se debe de intentar un enfoque de investigación participativa en la misma finca o en unidades demostrativas diseñadas *ex profeso*, para los estudios de valor nutritivo de las especies de árboles y arbustos en rumiantes, con el fin de evaluar la viabilidad biológica, social y económica de las alternativas propuestas.

## V. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Dr R. Godoy; Director de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Yucatán, por el apoyo económico para realizar los estudios aquí descritos. Los autores agradecen a CONACYT-México las becas para realizar estudios de maestría (J.A. Alayón, L. Ramírez Cancino) y doctorado (G. Jiménez Ferrer) en la FMVZ de la Universidad Autónoma de Yucatán.

## VI. REFERENCIAS

- ALAYÓN, J.A., RAMÍREZ-AVILÉS, L. AND KU-VERA, J.C. 1998. Intake, rumen digestion and microbial nitrogen supply in Pelibuey sheep fed *Cynodon nlemfuensis* and supplemented with foliage of *Gliricidia sepium*. *Agroforestry Systems*. (En prensa).
- BONSI, M.L.K., OSUJI, P.O., NSAHLAI, I.V. AND TUAH, A.K. 1994. Graded levels of *Sesbania sesban* and *Leucaena leucocephala* as supplements to teff straw given to Ethiopian Menz sheep. *Animal Production*. 59: 235-244.

- CHEN, X.B., ORSKOV, E.R. AND HOVELL, F.D. 1990. Excretion of purine derivatives by ruminants: Endogenous excretions, differences between cattle and sheep. *British Journal of Nutrition*. 63:121-129.
- ENKERLIN, E.C., CANO, G., GARZA, R.A. Y VOGEL, E. 1997. Ciencia Ambiental y Desarrollo Sostenible. International Thomson Editores. México, D.F. pp. 666.
- FERREIRO, H.M. 1990. Técnicas usadas para medir la cinética de líquidos y sólidos en el tubo gastrointestinal. En: Manual de Técnicas de Investigación en Rumiología. A. Castellanos, G. Llamas y A. Shimada. (Eds.). Consultores en Producción Animal. México, D.F. pp. 79-93.
- FIGUERAS, A.M. 1949. Coeficientes de digestibilidad del ramón. Tesis de Médico Veterinario Zootecnista. Escuela de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. pp. 31.
- GROVUM, W.L. AND WILLIAMS, V.J. 1973. Rate of passage of digesta in sheep. 4. Passage of marker through the alimentary tract and the biological relevance of rate-constants derived from the changes in concentration of marker in faeces. *British Journal of Nutrition*. 30:313-329.
- HARRISON, D.G. AND MCALLAN, A.B. 1980. Factors affecting microbial growth yields in the reticulorumen. *In: Digestive Physiology and Metabolism in Ruminants*. MTP Press, Lancaster, England, Great Britain. pp. 205-226.
- HUNGATE, R.E. 1966. The Rumen and Its Microbes. Academic Press. London, Great Britain.
- JARILLO RODRÍGUEZ, J. Y RAMÍREZ AVILÉS, L. 1997. Pastoreo intensivo y tradicional: Su influencia sobre el sistema suelo-planta-animal en el sureste de México. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 5 (Supl. 1): 72-75.
- LARBI, A., KURDI, O.I., SAID, A.N. AND HANSON, J. 1996. Classification of *Erythrina* provenances by rumen degradation characteristics of dry matter and nitrogen. *Agroforestry Systems*. 33:153-163.
- LOKER, M.W. 1994. Where is the beef?: Incorporating cattle into sustainable agroforestry systems in the Amazon Basin. *Agroforestry Systems*. 25:227-241.
- LÓPEZ, S., FRANCE, J. AND DHANOA, M.S. 1994. A correction for particulate matter loss when applying the polyester-bag method. *British Journal of Nutrition*. 71:135-137.
- MERTENS, D.R. 1993. Rate and extent of digestion. *In: Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism*. J.M. Forbes and J. France (Eds.). CAB International. Wallingford, England. Great Britain. pp. 13-51.
- MINSON, D.J. 1990. Forage in Ruminant Nutrition. Academic Press. San Diego, California, USA. pp. 483.
- OBARA, Y., DELLOW, D.W. AND NOLAN, J.V. 1991. The influence of energy-rich supplements on nitrogen kinetics in ruminants. *In: Physiological Aspects of Digestion and Metabolism in Ruminants*. T. Tsuda, Y. Sasaki and R. Kawashima (Eds.). Academic Press. San Diego, California, USA. pp. 515-539.
- ORSKOV, E.R. FLATT, W.P. AND MOE, P.W. 1968. Fermentation balance approach to estimate extent of fermentation and efficiency of volatile fatty acid formation in ruminants. *Journal of Dairy Science*. 51:1429-1435.
- ORSKOV, E.R. AND MCDONALD, I. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*. 96:499-503.
- ORSKOV, E.R., HOVELL, F.D. DEB. AND MOULD, F. 1980. Uso de la técnica de la bolsa de nylon para la evaluación de los alimentos. *Producción Animal Tropical*. 5:213-233.
- PÉREZ, J.D., ZAPATA, G. Y SOSA, E. 1995. Utilización del ramón (*Brosimum alicastrum* Swartz) como forraje en la alimentación de ovinos en crecimiento. *Agroforestería de las Américas*. 7:17-21.

- RAMÍREZ CANCINO, L. Y KU VERA, J.C. 1997. Suplementación con follaje de árboles a ovinos alimentados con pasto taiwan: Consumo, digestión ruminal y suministro de nitrógeno microbiano al duodeno. Reunión Nacional de Investigación Pecuaría Veracruz 1997. Veracruz, México. p. 111.
- SATTER, L.D. AND SLYTER, L.L. 1974. Effect of ammonia concentration on rumen microbial protein production *in vitro*. British Journal of Nutrition. 32:199-208.
- SAUVANT, D. AND VAN MILGEN, J. 1995. Dynamic aspects of carbohydrate and protein breakdown and the associated microbial matter synthesis. *In: Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction*. W. v. Engelhardt, S. Leonhard-Marek, G. Breves and D. Diesecke (Eds.). Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, Germany. pp. 71-91.
- SOTELO, A., CONTRERAS, E. AND FLORES, S. 1995. Nutritional value and content of antinutritional compounds and toxins in ten wild legumes of Yucatan Peninsula. *Plant Foods for Human Nutrition*. 47:115-123.
- SOTO PINTO, M.L., JIMÉNEZ FERRER, G. Y DE JONG, B.H. 1997. La agroforestería en Chiapas. El caso de la región de Los Altos. *En: Los Altos de Chiapas: Agricultura y Crisis Rural*. Tomo 1. Los Recursos Naturales. M. Parra Vázquez y B.M. Hernández (Eds.). El Colegio de la Frontera Sur. San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México. pp. 167-186.
- TILLEY, J.M. AND TERRY, R.A. 1963. A two stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *Journal of the British Grassland Society*. 28:104-111.
- TOLEDO, V., BATAIS, A.I., BECERRA, R., MARTÍNEZ, E. Y RAMOS, H.C. 1995. La selva útil: Etnobotánica cuantitativa de los grupos indígenas del trópico húmedo de México. *Interciencia*. 20:177-187.
- TOPPS, J.H. 1992. Potential, composition and use of legume shrubs and trees as fodders for livestock in the tropics. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*. 118:1-8.
- UDÉN, P., COLUCCI, P.E. AND VAN SOEST, P.J. 1980. Investigation of chromium, cerium and cobalt as markers in digesta. Rate of passage studies. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 31:625-632.
- VALDIVIA SALGADO, V. Y KU VERA, J.C. 1996. Efecto del ramón (*Brosimum alicastrum*) sobre la digestión ruminal y el flujo de proteína microbiana en ovinos Pelibuey alimentados con pasto guinea (*Panicum maximum*). Reunión Nacional de Investigación Pecuaría Cuernavaca 1996, Morelos, México. p. 267.
- YERENA, F., FERREIRO, H.M., ELLIOTT, R., GODOY, R. Y PRESTON, T.R. 1978. Digestibilidad del ramón (*Brosimum alicastrum*), *Leucaena leucocephala*, pasto Buffel (*Cenchrus ciliaris*) y pulpa de bagazo de henequén (*Agave fourcroydes*). *Producción Animal Tropical*. 3:70-73.