

## Nutritional characterization and ruminal degradation kinetics of some forages with potential for ruminants supplementation in the highland tropics of Colombia\*

*Caracterización nutricional y de la cinética de degradación ruminal de algunos de los recursos forrajeros con potencial para la suplementación de rumiantes en el trópico alto de Colombia*

*Caracterização nutricional e cinética de degradação ruminal de alguns dos recursos forrageiros com potencial para o suplementação de gado na nas regiões tropicais de altitude da Colômbia*

Juan F Naranjo<sup>1</sup>\*, Zoot, ePhD; César A Cuartas<sup>2</sup>, Zoot, cPhD

\*Autor para correspondencia: Juan Fernando Naranjo. Calle 42#74-79. Barrio Laureles. Medellín. Colombia.

Correo electrónico: [jnaranjo@cipav.org.co](mailto:jnaranjo@cipav.org.co)

<sup>1</sup> Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria. CIPAV. Carrera 2a Oeste 11-54, Cali, Colombia. Teléfono (57) (2) 8930931, Fax (57) (2) 8935535.

<sup>2</sup> Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción. Agropecuaria. CIPAV. Carrera 2a Oeste 11-54, Cali, Colombia. Teléfono (57) (2) 8930931, Fax (57) (2) 8935535.

(Recibido: 17 de septiembre, 2010; aceptado: 20 de mayo, 2011)

### Abstract

The aim of this study was to characterize the nutritional quality of nine forage resources: Comfrey (*Symphytum peregrinum*), White Mulberry (*Morus alba*), Sleeping Hibiscus (*Malvaviscus penduliflorus*), Nacedero (*Trichanthera gigantea*), tree marigold (*Tithonia diversifolia* Hemsl.) Gray, Ramie (*Boehmeria nivea* L.) Gaud, Arboloco (*Montanoa quadrangularis* Bipontinus Schultz), Chachafruto (*Erythrina edulis* Triana ex Michelle) and Andean Alder (*Alnus acuminata* Kunth), with potential for inclusion in strategic supplementation programs in the highland tropics of Colombia. The forages that showed the highest levels of PC were Comfrey (28,42%), Chachafruto (26,52%), Arboloco (26,35%) and those that showed the lowest were the Sleeping Hibiscus (15,92%) and Andean Alder (16,88%). The

\*Para citar este artículo: Naranjo JF, Cuartas CA. 2011. Caracterización nutricional y de la cinética de degradación ruminal de algunos de los recursos forrajeros con potencial para la suplementación de rumiantes en el trópico alto de Colombia. Rev CES Med Vet Zootec. Vol 6 (1): 9-19

lowest NDF contents were presented by White Mulberry (33,55%) and Andean Alder (35,79%) while the highest were observed for Chachafruto (49,64%) and Ramie (48,54%). The nutrient content of forages evaluated can be included in supplementation programs, due to they can enhance the energy density of the diet and may increase dry matter intake.

## Key Words

*Degradation, nutrition, rumen, supplementation, tropics.*

## Resumen

El objetivo de este estudio fue caracterizar la calidad nutricional de nueve recursos forrajeros: Consuelda (*Symphytum peregrinum*), Morera (*Morus alba*), San Joaquín (*Malvaviscus penduliflorus*), Nacedero (*Trichanthera gigantea*), Botón de oro (*Tithonia diversifolia* Hemsl. Gray), Ramio (*Boehmeria nivea* L. Gaud), Arboloco (*Montanoa quadrangularis* Bipontinus Schultz), Chachafruto (*Erythrina edulis* Triana ex Michelle) y Aliso (*Alnus acuminata* Kunth), con potencial para su inclusión en los programas de suplementación estratégica en el trópico de altura en Colombia. Los forrajes que mostraron los mayores niveles de Proteína Cruda (PC) fueron Confrey (28,42%), Chachafruto (26,52%), Arboloco (26,35%) y lo que mostraron los más bajos fueron San Joaquín (15,92%) y Aliso (16,88%). Los contenidos más bajos de Fibra en Detergente Neutro (FDN) los presentaron Morera (33,55%) y Aliso (35,79%), mientras que los más altas se observaron para Chachafruto (49,64%) y Ramio (48,54%). Los contenidos de nutrientes de los forrajes evaluados pueden incluirse en planes de suplementación ya que mejoran la densidad energética de la dieta y podrían incrementar el consumo de materia seca.

## Palabras Clave

*Degradación, nutrición, rumen, suplementación, trópico.*

## Resumo

O objetivo deste estudo foi caracterizar a qualidade nutricional de nove recursos forrageiros: Confrei (*Symphytum peregrinum*), amoreira (*Morus alba*), San Joaquín (*Malvaviscus penduliflorus*), Nacedero (*Trichanthera gigantea*), Botón de oro (*Tithonia diversifolia* Hemsl. Gray), rami (*Boehmeria nivea* L. Gaud), Arboloco (*Montanoa quadrangularis* Bipontinus Schultz), chachafruto (*Erythrina edulis* Triana ex Michelle) e Amieiros (*Alnus acuminata* Kunth), com potencial para sua inclusão em programas de suplementação estratégica nas regiões tropicais de altitude da Colômbia. As forrageiras que apresentaram os maiores níveis de PC foram Confrei (28,42%), Chachafruto (26,52%), Arboloco (26,35%) e as que mostraram os menores níveis foram a San Joaquín (15,92%) e Amieiros (16,88%). Os menores teores de FDN estavam na Amoreira (33,55%) e Amieiros (35,79%), enquanto os mais altos foram observados para Chachafruto (49,64%) e Rami (48,54%). Os conteúdos de nutrientes das forrageiras avaliadas foram incluídos nos planos de suplementação já que aumentam a densidade energética da dieta e podem aumentar a ingestão de matéria seca.

## Palabras Clave

*Degradação, nutrição, rumen, suplementação, trópicos.*

## Introducción

El factor más importante que influye en la respuesta de la producción de un animal es la cantidad total de nutrientes absorbidos. Por tanto, el consumo y la digestibilidad son parámetros clave en cualquier sistema de evaluación de alimentos<sup>37</sup>. La digestibilidad y utilización de nutrientes son, en este sentido, una descripción cualitativa del consumo neto de alimentos<sup>42</sup>. Adicional a la composición química, se han desarrollado varios métodos para caracterizar los recursos alimenticios en términos de su digestibilidad. Dichos métodos comprenden procedimientos *in vivo*, *in situ* e *in vitro*. Las mediciones *in vivo* proporcionan una medición estándar de la digestibilidad ya que representan la respuesta del animal a la dieta actual.

Con el propósito de reducir las dificultades en las rutinas de laboratorio y de mejorar la precisión de las pruebas, en los últimos años se han desarrollado un importante número de pruebas *in vitro* e *in situ* (digestibilidad enzimática, producción de gas y la técnica de las bolsas suspendidas en rumen) que permiten estimar la digestibilidad y la dinámica de la degradación ruminal de las fracciones nutricionales de los alimentos, con el fin de estudiar la variación en las respuestas ante cambios en las condiciones ruminales<sup>16</sup>.

La interpretación de la cinética de degradación de los alimentos para rumiantes ha tomado especial importancia en los sistemas de suplementación y un ejemplo específico es el caso de la proteína. Para hacer un uso adecuado de los sistemas de suplementación proteica, es necesario tener información acerca de la degradación ruminal de la proteína presente tanto en el forraje como en el suplemento. Los sistemas propuestos para calcular los requerimientos de proteína para rumiantes han reconocido la importancia de la degradación de la proteína en el rumen, como el principal factor que determina la cantidad de proteína que se absorbe en el intestino delgado<sup>1, 29</sup>.

La calidad nutritiva de los forrajes influye significativamente en la producción animal bajo pastoreo de tal manera que los intentos para caracterizar todos

los recursos que componen la dieta de los bovinos en el trópico alto son de vital importancia para un adecuado ajuste de los planes de alimentación.

La utilización de alimentos concentrados en los sistemas de producción ganadera en el trópico de altura (clima frío) en Colombia es una práctica frecuente y en muchos casos indispensable dados los altos requerimientos nutricionales de los animales. El empleo de estos suplementos aumenta en gran medida los costos de producción y pueden generar disfunciones digestivas bajo condiciones intensivas de utilización.

La propuesta de incluir forrajeras en las dietas de ganaderías de trópico alto busca la reducción de los costos de producción, la incidencia de enfermedades metabólicas así como el incremento del desempeño productivo y reproductivo del animal.

Para considerar la inclusión de forrajes en dietas de rumiantes, es necesario conocer el valor nutricional y la calidad de los forrajes, el valor nutricional puede expresarse en términos de su composición química (concentración de nutrientes); y la calidad estará determinada por la digestibilidad, la naturaleza de los productos y la cinética de digestión que se espera sea expresada en consumo efectivo por los animales<sup>25</sup>. Siguiendo estas consideraciones este trabajo se dirigió para dar cuenta de algunas características nutricionales y de calidad de forrajes que según su disponibilidad podrían ser incluidos en dietas de vacas lecheras.

En el presente estudio se caracterizaron nutricionalmente nueve recursos forrajeros promisorios: Confrey (*Symphytum peregrinum*), especie rastrera utilizada principalmente en la alimentación alternativa de conejos; Morera (*Morus alba*), es una especie arbustiva ampliamente empleada en el mundo para la alimentación de humanos y animales de todo tipo, por su gran valor nutricional; San Joaquín (*Malvaviscus penduliflorus*) arbustiva de uso principalmente ornamental; Nacedero (*Trichanthera gigantea*), arbustiva de uso común en alimentación de rumiantes y monogástricos; Botón de Oro (*Tithonia diversifolia* Hemsl. Gray), especie arbustiva utilizada en alimentación de rumiantes y en apicultura

por sus propiedades como melífera; Ramio (*Boehmeria nivea* (L.) Gaud.), especie de porte bajo, utilizada principalmente en alimentación de cerdos; Arboloco (*Montanoa quadrangularis* Schultz Bipontinus), especie arbórea nativa (distribuida por todos los andes en el trópico) usada en restauración ecológica, artesanías y construcciones; Chachafruto (*Erythrina edulis* Triana ex Michelle), arbórea leguminosa uso tradicional en la alimentación campesina y Aliso (*Alnus acuminata* Kunth), arbórea de la familia Betulaceae fijadora de nitrógeno mediante la simbiosis con bacterias del género Frankia, utilizada como maderable y en procesos de restauración ecológica por su amplia adaptación al trópico de altura.

## Materiales y métodos

### Ubicación

Los recursos forrajeros evaluados fueron colectados de un banco mixto de forrajes con varios años de establecimiento, ubicados en el predio “Cien años de soledad” ubicada en la vereda el Tablazo, Municipio de Rionegro. El lugar de recolección presenta una altitud de 2450 m, temperatura promedio anual de 18 °C, precipitación promedio anual de 3150 mm. Según Holdridge (1967)<sup>17</sup>, la zona ecológica es bmh-MB (bosque muy húmedo montano bajo).

### Muestras

Para cada una de las especies caracterizadas, se obtuvieron diferentes muestras correspondientes a diferentes alturas de la planta —la porción evaluada en todos los casos, fue el foliolo con el pecíolo—. El material vegetal colectado se secó en una estufa de aire forzado a 60 °C (aproximadamente 48 horas) y se molió con criba de 1 mm<sup>14, 23, 46</sup>. El material seco y molido constituyó la muestra para la realización de los diferentes análisis.

Para las pruebas de degradabilidad se realizaron en el centro de producción agropecuaria Paysandú (de propiedad de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín) se emplearon dos vacas secas de la

raza Holstein de aproximadamente 650 kg, que se encontraban canuladas al rumen, con todos los permisos requeridos para su utilización como individuos de experimentación animal. Los animales fueron revisados por un médico veterinario, encontrando a que los animales no presentaban signos estado de salud. Las vacas se encontraban pastoreando pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) durante todo el tiempo de la prueba.

### Métodos

Para la determinación de la degradabilidad se utilizó la metodología propuesta por Ørskov (2000)<sup>31</sup> con nueve tiempos de incubación en el rumen: 0, 3, 6, 12, 24, 36, 48, 72 y 96 horas, utilizando 4 repeticiones por cada tiempo. La introducción de bolsas en el rumen se realizó de forma invertida, es decir, las bolsas se sacaron al mismo tiempo y se lavaron simultáneamente de acuerdo a las recomendaciones hechas por Nocek (1987)<sup>26</sup>. Todos los por menores pertinentes a la técnica se ejecutaron de acuerdo a los procedimientos descritos por el laboratorio del grupo Biotecnología Ruminal (BIORUM) de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín<sup>4</sup>.

Para cada tiempo de incubación se contó con cuatro bolsas de nylon (ANKOM Co, Faiport, NY, USA) de dimensión interna: 5 x 9 cm con tamaño de poro de 53 µm. En cada bolsa se depositaron cinco gramos del material. Las bolsas se secaron en estufa de aire forzado a 65 °C y posteriormente se utilizaron los residuos para realizar las determinaciones de MS.

La estimación de la FDN y la FDA se realizó en un digestor ANKOM® 200 (ANKOM Co, Faiport, NY, USA) según las metodologías propuestas por Van Soest (1994)<sup>42</sup> y Van Soest y Robertson (1985)<sup>44</sup>, y siguiendo los procedimientos sugeridos por el Laboratorio de Biotecnología Ruminal (BIORUM) de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín 4 en donde también fueron llevadas a cabo dichas pruebas.

Las determinaciones de PC fueron realizadas en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín; de acuerdo al método de Kjeldahl (2002)<sup>13</sup>.

## Análisis

Para estimar los parámetros de la cinética de degradación ruminal se utilizó el modelo matemático de Mitscherlich I<sup>o</sup> modificado, teniendo en cuenta que es un modelo que recoge las características apropiadas para describir este tipo de procesos biológicos<sup>31</sup>.

Donde,  $D$  es la fracción degradada en el tiempo  $t$  de incubación,  $a$  el intercepto con el eje  $Y$  en  $t=0$  y representa la fracción soluble o el sustrato rápidamente degradable,  $b$  representa el sustrato potencialmente degradable,  $kd$  es la constante de la cinética de degradación y  $c$  es el punto de inflexión. Este modelo se diferencia de otros modelos utilizados para hacer la caracterización de los parámetros de la cinética ruminal por incluir un parámetro adicional, que según Solano y Vargas (1997)<sup>39</sup> representa el punto de inflexión del modelo, es decir, el tiempo en el que comienza el crecimiento exponencial de la curva de degradación y que en otros modelos se asume como periodo pre-fermentativo (*lag*).

La estimación de los parámetros de cinética ruminal del modelo se realizó mediante el procedimiento SOLVER de Microsoft EXCEL<sup>®</sup> 2000 según el protocolo descrito por Correa (2004)<sup>8</sup> para lo cual se utilizó el programa EXCEL de Microsoft Office<sup>®</sup>.

*Los datos fueron ajustados por regresiones no lineales mediante el procedimiento PROC NLIN iterando por el método de Marquardt con ayuda del programa estadístico SAS System Versión 8 (1999)*

## Resultados

La composición química de los forrajes tropicales está fuertemente afectada por las condiciones ambientales y por la calidad de los suelos (fundamentalmente deficientes en nitrógeno)<sup>3, 21, 36</sup>. También afectan la calidad nutritiva, los altos contenidos de pared celular y los bajos de carbohidratos solubles<sup>3, 21, 28</sup>.

En general, las gramíneas tropicales se caracterizan por un alto contenido de carbohidratos estructurales, bajos

contenidos de carbohidratos solubles y proteína total inferior al 7%<sup>7, 9, 32</sup>. Los valores de digestibilidad no suele superar el 55%<sup>3, 42</sup>. Los resultados del presente estudio indican que los recursos evaluados están en un rango de PC entre 15,92% (San Joaquín) y 28,42% (Confrey), los valores de FDN se presentaron entre 33,55% (Morera) y 49,64% (Chachafruto) (Tabla 1).

En la tabla 1 se presentan las características evaluadas de la composición química de los forrajes.

**Tabla 1.** Composición química de los recursos forrajeros evaluados en porcentaje (%) de la Materia Seca (MS), Proteína Cruda (PC), Fibra en Detergente Neutro (FDN), Fibra en Detergente Ácido (FDA).

<i>Forraje</i>	<i>MS</i>	<i>PC</i>	<i>FDN</i>	<i>FDA</i>
<i>A. acuminata</i>	23,6	16,88	35,79	31,06
<i>M. quadrangularis</i>	23,3	26,25	43,95	33,68
<i>T. diversifolia</i>	19,1	24,13	38,62	34,48
<i>E. edulis</i>	18,4	26,52	49,64	32,18
<i>S. peregrinum</i>	17,3	28,42	42,05	39,28
<i>M. alba</i>	24,6	24,77	33,55	32,7
<i>T. gigantea</i>	20,1	21,2	43,66	41,66
<i>B. nivea</i>	18,2	24,42	48,54	45,39
<i>M. penduliflorus</i>	19,5	15,92	43,78	24,58

Se ha sugerido que las especies forrajeras potencialmente utilizables para suplementar animales en el trópico deben contener niveles de proteína entre 15-30% (en base seca) 27, 32, 36. Los contenidos de proteína de los forrajes evaluados se encuentran en el rango sugerido.

Se reconoce que es posible mejorar el consumo de nutrientes en los animales, incrementando la digestibilidad de las fracciones potencialmente

digestibles o la velocidad de paso de las fracciones no digeribles en rumen<sup>3, 9, 15</sup>, pero estas estrategias deben desarrollarse conociendo muy bien la cinética de los forrajes en su tránsito por el tracto digestivo de los

animales. En este estudio se describen los parámetros más importantes de la cinética de degradación nutricional (en porcentaje de la MS) (Tabla 2).

**Tabla 2.** Parámetros de la cinética de degradación ruminal en porcentaje (%) de la MS, la PC y la FDN estimados a partir del modelo matemático de Mitscherlich I modificado.

Forraje	SM				PC				FDN			
	a	B	Kd	tC	a	b	kd	c	a	b	kd	C
<i>A. acuminata</i>	23,71	24,71	0,06	2,59	0,00	32,31	0,05	2,28	0,00	20,17	0,09	26,45
<i>M. quadrangularis</i>	27,07	45,78	0,13	3,51	34,02	51,98	0,12	3,71	8,86	68,21	0,11	2,67
<i>T. diversifolia</i>	31,97	45,58	0,25	10,07	35,60	58,82	0,24	8,09	3,97	81,46	0,22	8,10
<i>E. edulis</i>	21,13	35,20	0,04	0,76	40,91	38,13	0,03	0,72	5,60	43,94	0,05	1,06
<i>S. peregrinum</i>	30,05	41,20	0,07	2,12	43,58	38,07	0,11	8,85	22,51	53,79	0,09	4,32
<i>M. alba</i>	33,32	51,55	0,09	1,74	35,86	61,12	0,10	2,47	6,23	83,72	0,07	0,80
<i>T. gigantea</i>	35,24	48,06	0,07	2,68	21,20	77,80	0,07	3,30	21,43	51,33	0,07	3,12
<i>B. nivea</i>	36,11	44,35	0,13	2,62	40,46	56,96	0,17	4,91	32,91	57,96	0,17	7,32
<i>M. penduliflorus</i>	11,62	65,73	0,08	1,23	1,33	94,94	0,07	1,09	13,36	69,37	0,07	1,59

a = Fracción soluble ; b = Fracción degradable;  
kd = Tasa de degradación (%/hora) c = Tasa de pasaje (%/hora)

## Discusión

Juárez y Pell (1999)<sup>18</sup> determinaron la composición nutricional de 15 gramíneas tropicales, encontrando en promedio 8% de PC y 70,2% de FDN. Estos resultados sugieren que los forrajes evaluados en cuanto a su composición química, podrían ser considerados como recursos potencialmente utilizables en la suplementación de rumiantes en el trópico. En relación al contenido de MS es muy superior a lo reportado para el pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) (11,95%)<sup>10</sup>, que es la base de

la alimentación en sistemas de lechería especializada. Este aspecto tiene importantes implicaciones desde el punto de vista nutricional y alimenticio, ya que en la medida que se aumenta el contenido de MS, se aumenta la densidad de los nutrientes.

Los contenidos de FDN de los forrajes evaluados estuvieron por debajo de 50%, sugiriendo su posibilidad para ser incluidos en planes de suplementación de vacas lecheras y favoreciendo el consumo de materia seca<sup>15, 24</sup>. El contenido de FDN se relaciona positivamente con el llenado del rumen y con la densidad del forraje,

es decir, limita el consumo. Además los contenidos de FDN afecta la disponibilidad de energía <sup>7, 11, 29</sup>.

Para estimar los contenidos energéticos de los forrajes se usa frecuentemente el contenido de FDA <sup>10, 29</sup>. Los valores encontrados en este estudio oscilan entre 24,58 y 45,39%. Estos resultados sugieren que las dietas de los animales que se suplementen con ellos pueden incrementar sus contenidos energéticos, ya que la FDA está altamente correlacionada con la digestibilidad de la materia seca <sup>43</sup>.

Shayo y Udén (1999) <sup>37</sup> evaluaron gran variedad de forrajes tropicales, entre ellos Botón de Oro, Chachafruto y Nacedero, para los cuales reportaron valores de PC de 18,6; 26,7 y 25,3% y FDN de 55,1; 65,5 y 54,8%, respectivamente. En este trabajo los valores reportados para PC de los mismos forrajes son semejantes. Sin embargo, los resultados de FDN son diferentes, reportándose en este trabajo valores inferiores. Diferentes estudios han ratificado que los contenidos de FDN de los forrajes, están afectados significativamente por la edad de cosecha de las plantas <sup>3, 45</sup>.

En los resultados obtenidos de la prueba de degradabilidad se observó que seis especies (Nacedero, Ramio, Arboloco, Botón de Oro, Morera, Confrey y San Joaquín) alcanzaron una degradabilidad de la MS superior al 70%, estos valores sugieren la posibilidad de utilizarlos para suplementación de rumiantes en trópico alto, aunque las estrategias de utilización para cada recurso tengan particularidades a tener en cuenta. Para esta fracción las especies arbóreas Aliso y Chachafruto presentaron valores muy bajos de degradabilidad (cerca al 50%) lo que les limita sus posibilidades de utilización. Aunque se encuentran reportes de gramíneas en trópico alto con degradabilidad superior al 70%, los recursos forrajeros utilizados en este estudio podrían generar efectos sustitutivos parciales sobre el consumo de forrajes de madurez avanzada o residuos fibrosos por los aumentos en la densidad energética de la dieta <sup>29</sup>.

La información sobre la cinética de la degradabilidad de estos recursos es bastante escasa, y en algunos casos inexistentes en la literatura científica. *M. alba* es uno

de los recursos de este tipo más utilizados y evaluados en la alimentación de rumiantes. Lara y Lara (1998) <sup>20</sup> evaluaron la cinética de la degradación ruminal de la MS de la Morera se encontró para la fracción a 35,7%; fracción b 64,0%; *Kd* 0,062; degradabilidad potencial (*DP*) 99,7% y degradabilidad efectiva (*DE*) 74,6% (*Kp*=0,04). En el presente trabajo se encontró para fracción a 33,32%; fracción b 51,55%; *Kd* 0,09; *DP* 84,87% (*Kp*=0,04).

En otro trabajo Flores *et al.* (1998) <sup>14</sup> evaluaron los parámetros nutricionales de algunas arbóreas leguminosas y no leguminosas con potencial para suplementación de rumiantes en el trópico. En dicho trabajo se reportaron los siguientes valores: para la MS una fracción a 38,63%; 49,55% y 59,24%; *Kd* 0,063; 0,179 y 0,332; Digestibilidad ruminal *in situ* de la materia seca (DRISMS) a las 96 horas de 87,32%; 87,5% y 88,97% para Nacedero, San Joaquín y Morera, respectivamente. En este estudio se encontró para los mismos forrajes una fracción a 35,24%; 11,62% y 33,32%; *Kd* 0,07; 0,08 y 0,09; DRISMS a las 96 horas de 82,29%; 77,40% y 81,35%. Es evidente la enorme diferencia que se presenta en ambos trabajos, existen múltiples factores que afectan este tipo de determinaciones entre las que se pueden contar el modelo matemático para determinar los parámetros de la cinética ruminal, las fuentes de variación intrínsecas de la técnica y los factores asociados al material utilizado.

Los resultados más bajos en cuanto a la cinética de degradación de la MS se expresaron en los recursos arbóreos Aliso y Chachafruto, lo cual probablemente se debió a que las muestras seleccionadas se obtuvieron de árboles que no se encontraban bajo corte, y por lo tanto presentaban grados de lignificación superiores a los encontrados en arbóreas utilizadas frecuentemente y por tanto expuestas a una renovación constante de su follaje. A pesar que son numerosos los reportes de inclusión del aliso en arreglos agroforestales, a nuestro conocimiento, este es el primer trabajo que reporta la composición química y de cinética ruminal de este recurso.

En el caso del Chachafruto también es escasa la información en nutrición de rumiante ya que generalmente en alimentación animal se han utilizado principalmente sus frutos. Los resultados obtenidos en este trabajo son importantes ya que generan un punto de partida para tomar

decisiones o adelantar estudios de evaluación posteriores, en corroborar la calidad nutricional favorable que tienen estos recursos, con los parámetros de desempeño animal. Con respecto al Arboloco, a pesar que el material fue obtenido igualmente de arbóreas que no se encontraban bajo corte, los resultados de la cinética ruminal (*a* 22,07; *b* 45,78 y *Kd* 0,13) y de su composición nutricional (PC 26,25% FDN 43,95%) sugieren que este recurso podría ser evaluado en pruebas de alimentación que involucren mediciones en términos de producción animal.

Numerosos factores afectan la proporción de PC degradada en el rumen en relación y contenida en los alimentos. Las dos consideraciones más importantes de la química de la PC dietética son: 1) las concentraciones proporcionales de nitrógeno no protéico (NNP) y la proteína verdadera (PV), y 2) las características físicas y químicas de la proteína que comprende la fracción de proteína verdadera del alimento<sup>27, 29</sup>.

Algunas características de las proteínas muestran la contribución de la estructura tridimensional en las diferentes *Kd*'s que pueden presentar, las diferencias en los enlaces intra e inter-moleculares, las barreras inertes como las paredes celulares y los factores antinutricionales. Las diferencias entre la estructura tridimensional de los enlaces químicos que ocurren entre moléculas de proteína y entre proteínas y carbohidratos también son factores que afectan la degradación de las proteínas. Los resultados de este estudio permiten inferir que los contenidos de PC de los forrajes se refieren en gran proporción a proteína verdadera, además, ésta no presenta limitantes físico-químicas para los microorganismos ruminales que limiten su degradación. Quedan en este estudio interrogantes en cuanto al balance energía-proteína que se daría en el animal, dado que no se conocen los contenidos de carbohidratos solubles ni de extracto libre de N de los recursos utilizados, por tal motivo se debe tener cierto cuidado con la interpretación de estos resultados.

La prueba de degradabilidad de la FDN presentó el mismo comportamiento de la MS; sin embargo, es importante mencionar que estos forrajes (Nacedero, Ramio, Arboloco, Botón de Oro, Morera y San Joaquín) además de presentar bajos niveles de FDN, presentan

una degradabilidad de ésta superior al 70%. Este hecho contrasta con lo que sucede con la con la gran mayoría de las gramíneas tropicales que no alcanzan degradabilidades de la FDN superiores al 60% 6,35, los recursos evaluados en este trabajo mostraron una mayor degradación de esta fracción.

Los resultados de la degradabilidad de la PC permiten decir que todos los forrajes a excepción del aliso, se degradan rápidamente y en gran magnitud en el rumen. El tipo de proteína de estos recursos pareciera no representar obstáculos limitantes a los microorganismos ruminales para efectuar sus labores degradativas, por esta razón se podría explicar parte del proceso. El Aliso demuestra en esta fracción sus características recalcitrantes al ofrecer muchas limitaciones para poder ser degradado.

El conocimiento de la cinética de la degradación ruminal de las proteínas de los alimentos es fundamental para formular dietas que contengan cantidades adecuadas de proteína degradable en rumen (PDR) para los microorganismos y proteína degradable en rumen (PNDR) para el animal<sup>29</sup>. La concentración de NNP y PV, y las características físicas y químicas de la PV son factores que afectan la cantidad de PDR<sup>29</sup>. De esta manera las diferencias encontradas en la *Kd* son debidas a las características propias de cada uno de los forrajes evaluados así como de las estructuras y uniones moleculares, los contenidos de pared celular que actúan como barrera en el proceso degradativo y factores antinutricionales que eventualmente puedan contener los alimentos. El aporte relevante que hace este estudio, es generar información necesaria para incluir este tipo de forrajes en programas de alimentación.

La generación de información sobre recursos alternativos de alimentación no va dirigida solamente a los pequeños productores como es frecuente en este tipo de trabajos, dado que se conocen resultados satisfactorios en grandes ganaderías que han adoptado este tipo de prácticas alimenticias. Pretende en cambio, hacer una contribución importante en la caracterización nutricional de recursos potencialmente utilizables en el trópico alto; puesto que usualmente la generación de conocimiento en este campo se ha desarrollado evaluando recursos alimenticios en



tropical medio y bajo, donde existe una mayor diversidad de especies frecuentemente utilizadas. Sin embargo, en el trópico alto no es muy común la introducción de forrajeras en la suplementación ganadera, aunque se cuenta con una variedad importante de especies que pueden ser potencialmente utilizables.

Los contenidos de nutrientes de los forrajes evaluados en este estudio superan en contenido de MS, menores en FDN y FDA al pasto Kikuyo que es la base de la alimentación en este tipo de sistemas de producción; estas características sugieren que pueden incluirse en planes de suplementación ya que mejoran la densidad energética de la dieta y podrían incrementar el consumo de materia seca.

Los parámetros estimados de la cinética ruminal de los forrajes evaluados permitirá que éstos puedan ser incluidos en planes de alimentación que requieran incorporar los valores energéticos de los alimentos y la energía disponible para el animal de este tipo de recursos alimenticios.

## Agradecimientos

Los autores expresan los respectivos agradecimientos al Grupo de Investigación en Biotecnología Ruminal y Silvopastoreo (BIORUM) de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín por la financiación y apoyo logístico; al Laboratorio de Suelos de la misma Universidad por cofinanciar una parte del estudio, a la Finca “Cien Años de Soledad” por el aporte de los forrajes evaluados, al Centro de Producción “Paysandú” de la Universidad Nacional por la disponibilidad de su infraestructura para la realización del trabajo de campo y al Profesor Héctor Jairo Correa por su especial colaboración en la interpretación de los resultados.

## Referencias

1. AFRC. 1992. Nutritive requirements of ruminant animals. Protein Nutrition Abstracts and Reviews Serie B; 62:787-835.

2. Anbarasu C, Dutta N, Sharma K, Rawat M. 2004. Response of goats to partial replacement of dietary protein by a leaf meal mixture containing *Leucaena leucocephala*, *Morus alba* and *Tectona grandis*. Small Ruminant Research; 5:147-156.

3. Barahona R, Sánchez S. 2005. Limitaciones físicas y químicas de la digestibilidad de pastos tropicales y estrategias para aumentarla. Revista Corpoica; 6 (1):69-82.

4. BIORUM. 2003. Manual de procedimientos. Parte II. Dinámica Digestiva. Laboratorio de Biotecnología Ruminal. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 83p.

5. Buxton DR, Redfearn DD. 1997. Plant Limitations to Fiber Digestion and Utilization. J Nutr; 127 (Suppl): 814-818.

6. Chenost M, Sansoucy R. 1989. Nutritional characteristics of tropical feed resources: natural and improved grasslands, crop residues and agro-industrial by-products. In: Speedy A, Sansoucy R (eds.). Feeding Dairy cows in the Tropics. FAO Animal Health and Production Paper No. 86; p. 66-81.

7. CNCPS. 2003. The net carbohydrate and protein system for evaluating herd nutrition and nutrient excretion, version 5,0. Model documentation. Fox DG, Tylutki TP, Tedeschi LO, Van Amburgh MA, Chase LA, Pell AN, Overton TR, Russell BE. The Cornell University Nutrient Management Planning System. Department of Animal Science, Cornell University. Animal Science Mimeo 213.

8. Correa HJ. 2004. RUMENAL: procedimiento para estimar los parámetros de cinética ruminal mediante la función Solver de Microsoft Excel®. Rev Col Cienc Pec; 17 (3):250-254.

9. Correa HJ. 2002. Limitaciones metabólicas para la producción bovina en el trópico bajo. En: Estrategias de alimentación en la ganadería y su impacto en la productividad. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Producción Animal. Sección de Nutrición Animal. p. 34.

10. Correa HJ, Cerón JM, Henao Y, Arroyabe H. 2004. Maralfalfa: mitos y realidades. *En: Memorias IV seminario internacional Competitividad en carne y leche.* COLANTA.
11. CSIRO. 2007. Nutrient Requirements of Domesticated Ruminants. CSIRO Publishing. 296 p.
12. Ellis WC, Wylie MJ, Matis JH. 1988. Dietary-digestive interactions determining the feeding value of forages and roughages. *In: Ørskov ER (ed.) Feed Science World Animal Science, B4.* Elsevier Science Publishers Amsterdam p. 177-229.
13. Faithfull NT. 2002. Methods in Agricultural Chemical Analysis: A Practical Handbook. Institute of Rural Studies, University of Wales, Aberystwyth, UK. 304 p.
14. Flores OI, Bolívar D, Botero JA, Ibrahim MA. 1998. Parámetros nutricionales de algunas arbóreas leguminosas y no leguminosas con potencial forrajero para la suplementación de rumiantes en el trópico. *Livestock Research for Rural Development; (10) 1.*
15. Forbes JM. 2005. Voluntary Feed Intake and Diet Selection. *In: Dijkstra J, Forbes JM, France J. 2nd ed. Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism.* CABI Publishing. p. 607-627.
16. France J, Theodorou MK, Lowman RS, Beaver DE. 2000. Feed Evaluation for Animal Production. *In: Theodorou MK, France J (eds). Feeding Systems and Feed Evaluation Models.* CAB International. p. 1-9.
17. Holdridge LR. 1967. Life Zone Ecology. Tropical Science Center. San José, Costa Rica. Traducción del inglés por Humberto Jiménez Saa: Ecología Basada en Zonas de Vida, 1a. ed. San José, Costa Rica: IICA, 1982.
18. Juárez FI, Pell AN. 1999. Evaluation of tropical grasses for milk production by dual-purpose cows in tropical México. *Journal of Dairy Science; 82:2136-2145.*
19. Kiviste A, Álvarez JG, Rojo A, Ruíz AD. 2002. Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal. INIA. Madrid, España.
20. Lara A, Lara P. 1998. Utilización de hojas de morera (*Morus alba*) en la producción de carne de conejo. Memorias del IX Congreso Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico Agropecuario, ITA N°2, Conkal, Yucatán. 257 p.
21. Leng RA. 1990. Factors affecting the utilization of 'poor-quality' forages by ruminants particularly under tropical conditions. *Nutr Res Rev; 3:277-303.*
22. López S. 2005. *In Vitro* and *In Situ* Techniques for Estimating Digestibility. *In: Dijkstra J, Forbes JM, France J (eds.) Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism, 2nd edition.* CABI Publishing. p. 87-123.
23. Mertens DR. 1993. Rate and extent of digestion. *In: Dijkstra J, Forbes JM, France J (eds.) Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism, 2nd edition.* CABI Publishing. p. 13-47.
24. Mertens DR. 1994. Regulation of forage intake. *In: Fahey GC et al. (ed.) Forage Quality, Evaluation, and Utilization.* American Society of Agronomy, p. 450-493.
25. Naranjo JF, Cuartas CA, Correa HJ. 2005. Comparación de cuatro modelos matemáticos para la caracterización de la cinética de degradación ruminal de algunos recursos forrajeros. *Livestock Research for Rural Development; 17 (98) [mayo 4 de 2011]* <http://www.lrrd.org/lrrd17/9/nara17098.htm>
26. Nocek JE, Grant AL. 1987. Characterization of *in situ* nitrogen and fiber digestion and bacterial nitrogen contamination of hay crop forages preserved at different dry matter percentages. *J Anim Sci; 64:552-564.*
27. Nolan JV, Dobos RC. 2005. Nitrogen Transactions in Ruminants. *In: Dijkstra J, Forbes JM, France J (eds.) Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism, 2nd edition.* CABI Publishing. p. 177-207.
28. Norton BW, Poppi DP. 1995. Composition and nutritional attributes of pasture legumes. *In: D'Mello JPF & Devendra C (eds). Tropical legumes in animal nutrition.* CAB International. p. 23-45.

29. NRC. 2001. National Research Council. The nutrient requirement of dairy cattle. Seventh edition. National Academy Press, Washington. 381 p.
30. Orduña R, Ramírez RG, López F. 2002. Factores estructurales de la pared celular del forraje que afectan su digestibilidad. *CIENCIA UANL* 5 (2):180-189.
31. Ørskov ER. 2000. The *in situ* technique for the estimation of forage degradability in ruminants. *In: Givens DI, Owen E, Axford RFE, Omed HA (eds.) Forage Evaluation in Ruminant Nutrition.* CAB International. p. 175-198.
32. Parker DS. 1984. Limitantes metabólicos para la producción de leche en los trópicos. *Prod Anim Trop*; 9:263-269.
33. Paterson RT, Karanja GM, Roothaert RL, Nyaata OZ, Kariuki IW. 1998. A review of tree fodder production and utilization within smallholder agroforestry systems in Kenya. *Agroforestry Systems*; 41:181-199.
34. Poppi DP, France J, Mc Lennan SR. 2000. Intake, passage and digestibility. *In: Theodorou MK, France J (eds.) Feeding systems and feed evaluation models.* CAB International. p. 35-53.
35. Preston TR. 1995. Feed resources for ruminants. *In: Tropical animal feeding: a manual for research workers.* FAO Animal Health and Production Paper No. 126. p. 109-133.
36. Preston TR, Leng R. 1986. Supplementation of diets based in fibrous residues and by products. Elsevier Press. Amsterdam. p. 373-413.
37. Shayo CM, Udén P. 1999. Nutritional uniformity of crude protein fractions in some tropical browse plants estimated by two *in vitro* methods. *Anim Feed Science and Technology*; 78:141-151.
38. Smith LH, Goering HK, Gordon CH. 1971. Relationship of forage compositions with rates of cell wall digestion and indigestibility of cell walls. *J Dairy Sci*; 55:1140-1147.
39. Solano C, Vargas L. 1997. El crecimiento de novillas de reemplazo en fincas lecheras de Costa Rica. 1. Tipificación del crecimiento de novillas Holstein y Jersey. *Arch Latinoam Prod Anim*; 5 (1):21-36.
40. Tamminga S, Ketelaar R, Van Ubre AM. 1991. Degradation of nitrogenous compounds in conserved forages in the rumen of dairy cows. *Grass and Forage Science*; 46:427-435.
41. Tarawali SA, Tarawali G, Larbi A, Hanson J. 1995. Methods for the Evaluation of Legumes, Grasses and Fodder Trees for Use as Livestock Feed. ILRI Manual 1. ILRI (International Livestock Research Institute), Nairobi, Kenya. 51 p.
42. Van Soest PJ. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. Cornell University Press. 476 p.
43. Van Soest PJ, Mertens DR and Deinum B. 1978. Preharvest factors influencing quality of conserved forage. *J Anim Sci*; 47:712-720.
44. Van Soest PJ, Robertson JB. 1985. Analysis of forages and fibrous foods. A laboratory manual for animal science 613. Cornell University, USA.
45. Varga GA, Kolver ES. 1997. Microbial and Animal Limitations to Fiber Digestion and Utilization. *J Nutr(Suppl.)*; 127:819-823.
46. Weakley DC, Stern MD, Satter LD. 1983. Factors affecting disappearance of feedstuffs from bags suspended in the rumen. *J Anim Sci*; 56: 493-507.