

Original

Consumo voluntario y eficiencia de utilización de la energía metabolizable en corderos alimentados con forrajes arbóreos

Voluntary Consumption and Efficiency of Metabolizable Energy Use in Sheep Fed Forages from Trees

Delfín Gutiérrez González ^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-7386-5035>

Andrés Ramírez Baffi ² <https://orcid.org/0000-0003-2357-4624>

¹ Instituto de ciencia Animal (ICA). Apartado Postal 24, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba

² Instituto de Investigación de Pastos y Forrajes (IIPF). La Habana, Cuba.

* Autor para la correspondencia(email): gutiérrezdelfin131@gmail.com

RESUMEN

Antecedentes: La productividad de los animales demanda conocer las necesidades y el metabolismo energético como limitante para mejorar el desempeño productivo de los animales.

Objetivo. Determinar el efecto de una ración totalmente mezclada (RTM) con la inclusión de diferentes niveles de follaje arbóreos (*Tithonia diversifolia*, *Morus alba*, *Leucaena leucocephala*) en sustitución de *Cenchrus purpureus* híbrido Cuba OM-22, en el consumo voluntario de materia seca y la eficiencia de utilización de la energía metabolizable en corderos.

Métodos: Se utilizaron 24 corderos enteros, destetados de la raza Pelibuey, con 84 ± 9.75 días y peso vivo promedio de 15.80 ± 2.740 kg (7.92 ± 1.00 kg PV^{0.75}), distribuidos en seis grupos mediante un diseño completamente aleatorizado (DCA) por un periodo de 120 días. Los tratamientos consistieron en la inclusión de diferentes niveles (20,40 %) de follaje arbóreos (*Tithonia diversifolia*, *Morus alba*, *Leucaena leucocephala*) con (80,60 %) *Cenchrus purpureus* híbrido Cuba OM-22, en la mezcla experimental, plantas con 50,55, 65 y 60 días de edad, respectivamente. Se realizó análisis de varianza (ANOVA) y aplicó test de Duncan (1955) para determinar las diferencias entre medias.

Resultados: El consumo de materia seca absoluto fue superior (1.31 vs 1.37 kg d⁻¹, $p < 0.0001$) cuando se incluyó el 40% de follaje de morera y leucaena en la mezcla, respectivamente. Aunque el 40% de morera superó (71 g Mcal⁻¹, $p < 0.0001$) la relación proteína: energía.

Conclusiones: La inclusión del 40% de morera y leucaena con el 60% *Cenchrus purpureus* mejoró el consumo voluntario. La eficiencia utilización de la energía metabolizable ingerida para el mantenimiento (km) fue alta, pero baja para el crecimiento (kg).

Palabras clave: eficiencia de energética, metabolismo de energía, nutrición de ovinos, parámetros sanguíneos (*Fuente: AGROVOC*)

ABSTRACT

Background: Animal production demands knowledge about the energy needs and metabolism to enhance yields.

Aim. To determine the effect of a totally mixed ration (TMR) containing different volumes of tree foliage (*Tithonia diversifolia*, *Morus alba*, *Leucaena leucocephala*) as an alternative to hybrid *Cenchrus purpureus* Cuba OM-22, for voluntary consumption of dry matter and the efficiency of metabolizable energy use in sheep.

Methods: A total of 24 whole weaned Pelibuey sheep (84 ± 9.75 days of age), with an average live weight of 15.80 ± 2.740 kg (7.92 ± 1.00 kg $PV^{0.75}$), were included in six groups, using a completely randomized design (CRD) for 120 days. The treatments consisted in the inclusion of several levels (20.40 %) of foliage from trees (*Tithonia diversifolia*, *Morus alba*, *Leucaena leucocephala*) with 80.60% hybrid *Cenchrus purpureus* Cuba OM-22, included in the experimental plant mixture of 50, 55, 65, and 60 days of age, respectively. An analysis of variance (ANOVA) was performed and the Duncan test was conducted to determine the differences of means.

Results: The absolute consumption of dry matter was higher (1.31 vs 1.37 kg d^{-1} , $p < 0.0001$), when 40% of morera and leucaena foliage was included in the diet, respectively. Though 40% of morera surpassed the protein: energy ratio (71 g $Mcal^{-1}$, $p < 0.0001$).

Conclusions: The inclusion of 40% morera and leucaena with 60% *Cenchrus purpureus* improved voluntary consumption. The efficiency in the utilization of metabolizable energy ingested for maintenance (km) was high, though it was low for growth (kg).

Key words: energy efficiency, energy metabolism, ovine nutrition, blood parameters (*Source: AGROVOC*)

Recibido: Octubre, 2022;

Aceptado: Noviembre, 2022;

INTRODUCCIÓN

La baja calidad de los pastos tropicales limita la disponibilidad y calidad en cuanto al elevado nivel de fibra y bajo nivel de proteína de este recurso forrajero (Pierrugues y Viera, 2021. Sin embargo, la formulación de dietas con la inclusión de especies forrajeras arbóreas donde la disponibilidad de gramíneas resulta escasa, constituye una importante alternativa de producción de biomasa, concomitante con la calidad de los nutrientes que poseen, la elevada aceptación y la posibilidad de cubrir los requerimientos de los rumiantes (Núñez-Torres y Rodríguez-Barros, 2019)

Por otra parte, para optimizar la productividad de los animales es necesario conocer las necesidades de nutrientes de los mismos, la eficiencia de utilización de los recursos alimenticios disponibles y el metabolismo energético como principal nutriente limitante en el desempeño productivo de los animales en condiciones tropicales (Galvez-Luis *et al.*, 2020). Al respecto Piñeiro-Vázquez *et al.*, (2013) plantean que el consumo de energía inferior a las necesidades de mantenimiento adultos, induce a la movilización de las reservas corporales de grasa, situación que podría conllevar pérdida de peso y sufrir alteraciones metabólicas relacionadas con la activación de la gluconeogénesis.

De igual modo, se plantea que la metabolicidad (qm) de la energía bruta, constituye la base del cálculo para determinar la eficiencia de utilización de la energía metabolizable (EM) (AFRC, 1993), así como, que la cantidad de energía retenida como consecuencia del incremento de la energía consumida es cuantificada a través de los valores de k (eficiencia) (Magofke *et al.*, 2000) y donde la eficiencia de utilización de la energía metabolizable para el mantenimiento se denomina km , pero cuando la ingestión de EM es superior a la EM para el mantenimiento el valor de k representa la eficiencia que se retiene de la EM de la ración para la producción (kg : aumento de peso o crecimiento-engorde, kl : lactación y kc : gestación).

En la actualidad existe poca información disponible en la región referida al uso de los árboles y arbustos forrajeros como parte considerable de la dieta y su relación con la ingestión voluntaria de materia seca, en particular de la energía metabolizable y su eficiencia de utilización en la especie ovina.

Considerando lo anteriormente planteado, el presente estudio tuvo como objetivo determinar el efecto de una ración totalmente mezclada (RTM) con la inclusión de diferentes niveles de follaje arbóreos (*Tithonia diversifolia*, *Morus alba*, *Leucaena leucocephala*) en sustitución de *Cenchrus purpureus* híbrido Cuba OM-22, en el consumo voluntario de materia seca y la eficiencia de utilización de la energía metabolizable en corderos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El trabajo se desarrolló en la estación de pastos y forrajes de la Habana "Villena Revolución", perteneciente al Instituto de Investigación de Pastos y Forrajes (IIPF) del Ministerio de la Agricultura (MINAGRI).

Animales y diseño

Se utilizaron 24 corderos enteros, destetados de la raza Pelibuey, con 84 ± 9.75 días y peso vivo promedio de 15.80 ± 2.740 kg (7.92 ± 1.00 kg $PV^{0.75}$), distribuidos en seis grupos mediante un diseño completamente aleatorizado (DCA) y alojados en corrales según tratamiento por un

periodo de 120 días, con 20 días de adaptación a la dieta experimental y el resto para la toma de datos.

Tratamientos

Los tratamientos consistieron en la inclusión de diferentes niveles (20,40 %) de follaje arbóreo (*Tithonia diversifolia*, *Morus alba*, *Leucaena leucocephala*) en sustitución (80,60 %) de *Cenchrus purpureus* híbrido Cuba OM-22 en una ración totalmente mezclada (RTM). Del banco de biomasa de forrajes con dos años de establecido en condiciones de secano y sin fertilización fueron cosechados de forma manual los forrajes *T. diversifolia*, *M. alba*, *L. leucocephala* y *C. purpureus* con 50, 55, 65 y 60 días de edad, respectivamente. Las RTM con la inclusión de los diferentes forrajes y proporción según tratamientos fueron elaboradas al inicio de del día (08.00 am) y ofertadas en una sola ocasión (08:30) a razón del 12 % peso vivo en base húmeda, más un nivel (15%) capaz de garantizar suficiente material rechazado el siguiente, pero con remoción en el comedero en dos momentos (11:30 am, 16:30 pm) durante de día, además de tener los animales acceso al agua y sales minerales a libre voluntad. Las **tablas 1, 2** muestran la composición química de los forrajes y la RTM ofertada a los corderos con los diferentes niveles de inclusión de los forrajes.

Tabla 1. Composición química de los forrajes.

Forrajes	MS, %	PB, % (Nx6.25)	EM, Mcal kg MS ⁻¹	FDN, %	FAD, %	C, %	DMS, %	DMO, %	MODMS, %
<i>C. purpureus</i>	90,3	10,0	2,28	74,5	31,9	9,9	64,0	66,2	59,6
<i>T. diversifolia</i>	91,4	19,2	2,45	47,8	42,2	18,4	73,5	76,2	68,6
<i>M.alba</i>	89,2	25,9	2,23	32,7	24,6	9,5	69,6	72,0	64,8
<i>L.leucocephala</i>	90,5	24,0	2,30	50,8	26,4	9,3	68,0	70,4	63,3

MS: materia seca; PB: proteína bruta; EM: energía metabolizable; FDN: fibra detergente neutro; FAD: fibra acida detergente; C: cenizas; DMS: digestibilidad de la materia seca; DMO: digestibilidad de la materia orgánica; MODMS: materia orgánica digestible en la materia seca

Tabla 2. Niveles de inclusión y composición química de las raciones totalmente mezclada (RTM).

Forrajes	Niveles inclusión arbórea, %BH					
	20T: 80Cp	40T: 60Cp	20M: 80Cp	40M: 60Cp	20L: 80Cp	40L: 60Cp
<i>C. purpureus</i>	80	60	80	60	80	60
<i>T. diversifolia</i>	20	40	-	-	-	-
<i>M.alba</i>	-	-	20	40	-	-
<i>L. leucocephala</i>	-	-	-	-	20	40
	100	100	100	100	100	100
Composición química						
MS, %	90,5	90,7	90,1	89,9	90,3	90,4
PB (Nx6.25, %)	11,9	13,7	13,1	16,3	12,8	15,6
EM, Mcal kgMS ⁻¹	2,32	2,36	2,29	2,30	2,29	2,30
MO, %	78,9	77,4	80,2	80,1	80,5	80,7
FDN, %	69,1	63,7	64,6	54,7	69,8	65,0
FAD, %	29,5	27,0	30,5	29,1	30,9	29,9
EB, kcal kg MS ⁻¹	3,82	3,79	3,91	3,97	3,92	3,98

Cada cuatro días consecutivos por mes y mediante la diferencia entre el pesaje de la materia seca ofrecida y rechazada se registró el consumo voluntario de materia seca por corral. Para ello, se utilizó un dinamómetro marca SANSOM de 5 kg±50 g. De igual modo, se tomaron las variaciones del peso vivo individual y promedio del corral al inicio y final del mes, con una pesa marca HANSON-SMBUTA de 50 kg ± 0.460 kg, momento en que se ajustó el consumo de la RTM al grupo de animales. El área de corral por tratamiento fue de 3.60 m², total experimental de 21.6 m², con 0.72 m² de superficie total de comedero, capaz de garantizar 0.30 m de frente de comedero por animal, bebederos (cubetas) con disponibilidad de 15 litros de agua (consumo instantáneo) y saleros (bandeja) de 0.016 m³.

Análisis químico

Las muestras de follaje original, las mezclas ofrecidas y el material rechazado fueron secadas en estufa de aire forzado a 60° C por un periodo de 48h hasta alcanzar el peso constante para determina el aporte de materia seca (MS). Luego de secados fueron molidos (1mm) y enviadas al laboratorio para realizar análisis químico según AOAC (2005) y el fraccionamiento de la fibra por Goering y Van Soest (1994). Para la estimación de la digestibilidad de materia seca (DMS) y de la materia orgánica (DMO) se utilizaron las ecuaciones propuestas de Minson (1982) y CSIRO (1990). La energía metabolizable se determinó a partir de la materia orgánica digestible en la materia seca (MODMS) según AFRC (1995).

De igual manera, se determinó el comportamiento de algunas variables físicas de los forrajes que participan en la RTM según metodología propuesta por Savón *et al.*, (2004). La totalidad de los análisis se realizaron en la Unidad Central de Laboratorios (UCELAB) del Instituto de Ciencia animal (ICA). La metabolibilidad se estimó por el cociente entre la concentración de energía metabolizable y el aporte de energía bruta de la ración (AFRC, 1995), de acuerdo con la ecuación:

$$qm = \frac{EM}{EB}$$

Dónde:

qm = Metabolibilidad de la ración

EM = Energía metabolizable

EB = Energía Bruta

De igual modo, se calculó la eficiencia de utilización de la energía metabolizable para el mantenimiento (*km*) y para el crecimiento (*kg*) mediante las siguientes ecuaciones:

$$- km = 0.350 \times qm + 0.503$$

$$- kg = 0.780 \times qm + 0,006$$

Análisis estadístico

Se realizó análisis de varianza (ANOVA) y se aplicó test de Duncan (1955) para determinar las diferencias entre medias. De la misma forma, se realizaron correlaciones de Pearson (concentración de energía metabolizable de la ración: eficiencia de utilización de la energía para el mantenimiento y el crecimiento) y regresiones lineales (consumo de proteína : consumo de fibra detergente neutro, concentración de proteína de la ración : relación proteína y energía metabolizable consumida) entre las variables estudiadas y plantearon los parámetros y criterios estadísticos de ajuste de la ecuación y el modelo (R^2 , $\pm EE$, p), respectivamente. La totalidad de los datos fueron procesados mediante el paquete estadístico INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2016).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la **tabla 3** se presentan los resultados del consumo voluntario de la ración y la relación entre los diferentes nutrientes. Referente al consumo de materia seca absoluto ($kg d^{-1}$) y relativo (% PV, $g kg PV^{0.75}$) en base seca, se observó que los tratamientos con la inclusión del 40 % de morera y leucaena en la RTM, difieren del resto y alcanzan los valores más altos del consumo de materia seca y proteína en relación con el peso vivo (PV), consumo de energía metabolizable, así como, el consumo de materia orgánica, cantidades inferiores a estos valores debieron influir en la respuesta productiva del resto de los tratamientos.

Tabla 3. Consumo voluntario en corderos alimentados con raciones básicas con la participación creciente de los follajes arbóreos.

Indicador	Inclusión de la arbórea, %BH					
	20T	40T	20M	40M	20L	40L
CMS, $kg d^{-1}$	1,23 ^d	0,95 ^d	0,98 ^b	1,31 ^e	0,99 ^c	1,37 ^f
CMS, %PV	4,4 ^{ab}	3,5 ^a	3,7 ^a	5,0 ^b	4,5 ^{ab}	5,2 ^b
CMS, $g kgPV^{0.75}$	146 ^{ab}	132 ^a	129 ^a	162 ^b	131 ^a	189 ^c
CMO, kg	0,97 ^d	0,73 ^a	0,78 ^b	1,05 ^e	0,80 ^c	1,11 ^f
CMO, $g kgPV^{0.75}$	115 ^{ab}	102 ^a	103 ^a	130 ^b	105 ^a	153 ^c
CPB, $g d^{-1}$	146 ^d	130 ^c	128 ^b	214 ^e	127 ^a	214 ^f
CPB $kg PV^{-1}$, $g kg^{-1}$	8,5 ^a	9,4 ^a	8,6 ^a	13,2 ^c	8,6 ^a	15,3 ^d
CEM, $Mcal d^{-1}$	2,86 ^c	2,24 ^b	2,24 ^b	3,01 ^{cd}	2,27 ^b	3,16 ^d
CFDN, g	0,85 ^e	0,60 ^a	0,63 ^b	0,72 ^d	0,69 ^c	0,89 ^f
CFDN, % PV	4,97 ^a	4,38 ^a	4,27 ^a	4,43 ^a	4,6 ^a	6,38 ^b
CPB:CEM, $g Mcal^{-1}$	51,1 ^a	58,0 ^d	57,4 ^c	70,9 ^f	55,9 ^b	67,8 ^e
Conc. EM. Rac., $Mcal kg MS^{-1}$	2,32 ^c	2,36 ^d	2,29 ^a	2,30 ^b	2,29 ^a	2,30 ^b
Conc. PB rac., $Mcal kg MS^{-1}$	0,12 ^a	0,14 ^c	0,13 ^b	0,16 ^d	0,13 ^b	0,16 ^d
Cons. EM /req. EM. %	73,11 ^a	67,62 ^a	61,88 ^a	75,17 ^a	64,96 ^a	99,57 ^b
Índices selección MS de la oferta	1,1 ^{ab}	1,7 ^{bc}	1,2 ^{ab}	1,0 ^a	1,5 ^{abc}	2,0 ^c
Índices selección de PB de la oferta	1,1 ^a	1,8 ^b	1,1 ^a	1,0 ^a	1,4 ^{ab}	1,9 ^b

BH: base humedad, *T. diversifolia*; M: *Morus alba*; L: *L. leucocephala*; CMS: consumo de materia seca; CMO: consumo de materia orgánica; CPB: consumo de proteína; CEM: consumo de energía metab;olizable; CFDN: consumo de fibra detergente neutro; Conc. EM: concentración de energía metabolizable; Conc. PB: **concentración de proteína, Req.: Requerimientos según NRC (2006).**

De forma general se aprecia que el valor medio (148.58 ± 24.14 vs 118.45 ± 20.08 g kg PV^{0.75}) del consumo de materia seca y materia orgánica alcanzado en el presente estudio ajustado al peso metabólico fue superior a lo obtenido (91.19 vs 80.84 g kg PV^{0.75}) por Rodríguez (2018) en trabajos donde incluyó (16.5, 33.5, 66.5 %) de moringa en dietas integrales para corderos de la raza Pelibuey, así como, lo logrado (89 vs 80 g kg PV^{0.75}) por Aguirre *et al.*, (2019) durante el engorde de corderos criollos enteros alimentados con pulpa de café fermentada incluida (30 %) en un suplemento energético- proteicos junto a la caña de azúcar (harina de tallos libres de hojas), maíz, soya, harina de alfalfa y sales minerales, ofrecida a razón de 11 g kg PV⁻¹(base seca) y lo alcanzado (82 vs 68 g kg PV^{0.75}) por Parra (2022) al ofrecer a voluntad a machos ovinos de la raza de la raza Romney Marsh en condiciones de confinamiento, una ración formada por pasto kikuyo oreado más ensilaje de maíz.

Estos resultados debieron estar influenciados por el alto índice de selección del nivel ofertado de la RTM, en lo respecta al consumo de materia seca y proteína, y donde se aprecia que el tratamiento con la inclusión del 40% de morera, el índice de selección de la materia seca y de proteína se igualó a la unidad (IS=1), significando que el valor nutritivo y eficiencia alimentaria esperada de la ración ofertada y consumida fueron semejantes, con alta palatabilidad y que logran maximizar la utilización de las fracciones.

Lo alcanzado en el propio tratamiento con el 40% de morera en la mezcla, prueban que el consumo de materia seca y la concentración proteína de la RTM logró cubrir los requerimientos de mantenimiento y que pudo destinarse proteína para el desempeño productivo de los corderos, resultados que igualmente pudieran evidenciar la sincronización que debió existir entre las fuentes de proteína y los hidratos de carbono disponibles para mejorar la fermentación ruminal (Espinoza y Bionel, 2018; Galindo-Blanco *et al.*, 2018), a pesar de que el balance de energía metabolizable en el propio tratamiento según los requerimientos del NRC (2006) cubre la demanda de energía en $75.17 \pm 8.45\%$.

El efecto del desbalance energético en este estudio debió ser corregido por la ingestión de proteína y la formación de aminoácido libres provenientes de la desaminación fermentativa ruminal la que produce ácidos grasos volátiles de cadena ramificada, que pudieron ser utilizados como fuente de energía y como factores de crecimiento para las bacteria ruminales y con ello, mejorar la síntesis de proteína (Sobrevilla, 2018), que unido a la baja degradación ruminal de la proteína de las arbóreas, se logra incrementar el flujo de proteína (aminoácido glucogénicos) al intestino delgado, aunque la disponibilidad de proteína para este sitio depende de la proporción proteica de la dieta y el nivel de ingestión (Arteaga, 2018), como debió ocurrir en este estudio cuando participó el 40% de morera en la mezcla, donde se obtuvo elevada concentración de proteína (25 g Nitrógeno kg MS⁻¹), liberándose entonces gran cantidad de

proteína soluble al rumen que conllevaría alta degradación y síntesis proteína por los microorganismo ruminales (Chacón, 2018 y Núñez-Torres y Rodríguez-Barros, 2019).

Por otra parte, se observó según resultados de la regresión lineal ($a = -11.89 \pm 1.82$ $b_1 = 516.53 \pm 11.59$, $R^2 = 98$, $\pm EE = 3.36$, $p < 0.0001$) que la concentración de proteica de la ración explicó el 98% de las variaciones ocurridas en la relación PB: EM de la dieta, indicador utilizado para evaluar la eficiencia de utilización de los alimentos y caracterizar el ritmo de la ganancia de peso en rumiantes (Mayer *et al.*, 2018). No obstante, los valores medios encontrado en el presente estudio superan (67.07 ± 8.38 g Mcal⁻¹) los requerimientos mínimos (22.99 g Mcal⁻¹) planteado por el NRC (2006). La posible explicación de lo alcanzado debió estar relacionado con la alta solubilidad de la proteína dietaria en el medio ruminal, la combinación de ambos nutrientes y la sincronización de los mismos (Arteaga, 2018).

También se observó que el elevado consumo voluntario de materia seca estuvo influenciado ($r = 0.84$) por la elevada ingestión de FDN (Martínez *et al.*, 2022). Consumo de FDN que representó el $80.99 \pm 6.50\%$ (68.29 - 87.62%) del total de la materia orgánica ingerida y donde solo el $19.00 \pm 6.50\%$ fueron constituyentes celulares solubles, sustrato disponible que debió ser utilizado como fuente energía durante la digestión (Gutiérrez *et al.*, (2020a, 2020b). Adicionalmente los resultados del modelo de regresión lineal positivo ($a = 0.15 \pm 0.16$, $b_1 = 1.35 \pm 0.21$, $R^2 = 72$, $\pm EE = 0.01$, $p < 0.0001$) entre el consumo de materia seca y de FDN, según punto de inflexión de la ecuación, pone de manifiesto que a partir 1.35 g FDN consumida bajaría el consumo de materia seca, momento estático que dependerá de la capacidad del alimento para ocupar espacio (*efecto de llenado físico*) y donde disminuirá la tasa de vaciado del alimento desde el rumen y con ello, la velocidad de reposición de la digesta.

De igual modo, Gutiérrez *et al.* (2018) informa que la disponibilidad de la materia orgánica por unidad de peso metabólico guarda estrecha relación con la digestibilidad de la materia orgánica, a la vez, que influye en el consumo de materia seca, valor que en este estudio fue superado con la inclusión del 40 % de morera en la RTM. Elevada importancia le confiere Rodríguez *et al.* (2019) al aporte de materia orgánica del alimento, la degradabilidad y la fermentación del nitrógeno ruminal, cuando la disponibilidad de proteína está acompañada por suficiente cantidad de energía metabolizable como para garantizar la sincronía de ambas fuentes.

Adicionalmente sería necesario describir que la baja (2.32 ± 0.03 , rango 2.29 - 2.36 Mcal kg MS⁻¹) concentración energética generalizada en las raciones consumidas por los animales y el alto (4.20 ± 0.77 , rango 2.70 - 5.68 % PV) consumo de materia seca alcanzado por los corderos en relación con el peso vivo estuvo regulado a corto plazo por factores físicos y no metabólico (Aragadvay, 2020; Lorda y Pordomingo, 2020; Pérez Martell, 2021), dado por la capacidad y volumen del rumen-retículo y la velocidad de digestión y absorción del alimento, unido al efecto de llenado de la dieta y no químico relacionado con la disponibilidad de energía de la ración consumida (Cantaro Segura, 2018). En tanto que el efecto químico o metabólico según Cangiano y Cangiano (1997) está caracterizado por la alta (2.70 - 3.75 Mcal kg MS⁻¹)

concentración de energía en la ración y donde los animales consumen hasta cubrir los requerimientos de nutrientes

Además, se pudiera expresar que factores físicos como la solubilidad de la MS, la retención del líquido por el material fibroso, la densidad de cada planta forrajera utilizada y su proporción en la mezcla pudieron influir en la absorción de nutrientes y la tasa de digestión de la mezcla (Hoover y Stokes, 1991). Referido a la solubilidad, se observó que en los árboles forrajeros de morera y tithonia presentaron los valores más altos, pero similar (33-35%) a lo mencionado por Verité y Demarquilly (1978) en pastos tropicales, pero con menor capacidad de absorción de líquido y densidad, lo que hace suponer que ambos forrajes debieron presentar menor tiempo de retención ruminal y lograr el máximo aprovechamiento de los nutrientes a nivel ruminal e incrementar la ingestión de MS (**tabla 4**).

Tabla 4. Comportamiento de variables físicas de los diferentes forrajes que participan en la RTM.

Variable	<i>Tithonia diversifolia</i>	<i>Morus alba</i>	<i>Leucaena leucocephala</i>	<i>Cenchrus purpureus</i>
Solubilidad MS, %	36,39	37,75	26,00	23,50
±DE	5,78	3,25	3,50	2,50
Capacidad de absorción agua, g/g	7,49	9,06	9,83	9,20
±DE	0,30	1,89	0,38	0,27
Densidad, g/cm ³	0,15	0,22	0,28	0,18
±DE	0,01	0,05	0,11	0,02

DE: Desviación estándar

Corroborando lo anteriormente planteado sería necesario expresar que la alta solubilidad de la morera debió influir en la degradación y fermentabilidad de las fracciones fibrosas, elementos que conlleva alta concentración ruminal de ácidos grasos volátiles (AGV, acetato mayor proporción) que son absorbidos por la pared ruminal y utilizado como fuente de energía por la microbiota ruminal y que tiene efecto sinérgico con la degradación de la proteína (Della Rosa, 2018).

Por otro lado, según repuesta de la regresión se observó que la inclusión del 40% de morera en la RTM originó un consumo 1.88 kg ($a = 0.34 (\pm 0.17)$, $b_1 = 1.88 (\pm 0.54)$, $R^2 = 78$, $\pm EE = 0.02$, $p = 0.0470$) de morera por cada unidad de consumo de la gramínea y 2.31 kg MS morera ($a = 0.45 (\pm 0.19)$, $b_1 = 2.31 (\pm 0.64)$, $R^2 = 68$, $\pm EE = 0.02$, $p = 0.2291$), por cada kg de materia seca total ingerida. De manera que al extrapolar la línea de regresión hasta lograr la intersección con cero (*cociente entre intercepto: pendiente de la ecuación*) la demanda de morera en la RTM para garantizar la actividad de mantenimiento fue de 0.195 kg MS, valor que representa el 15% del total de materia seca consumida. Estos resultados prueban el efecto aditivo del forraje de morera en la RTM consumida por los corderos.

En este trabajo el valor encontrado de la metabolicidad ($qm = 0.58 \pm 0.04$) de la energía bruta muestra elevada cantidad de calor producido durante la fermentación y actividad de la rumia (AFRC, 1993), a la vez explican, según que el valor numérico que las dietas empleadas fueron

semejantes a forrajes de alta calidad cuando $qm = > 0.50$ (Lee, 2018), dado porque esta variable revela mayor digestibilidad (Vázquez-Carrillo *et al.*, 2021) de la ración.

Asimismo, el valor (0.71 ± 0.01) de km superó (0.66) lo reportado por Chay-Canul *et al.* (2016) para razas ovinas de pelo corto, cuando el forraje de la dieta supera el 70 % como ocurrió en este estudio donde la ración fue exclusivamente de forrajes, aunque los propios autores refieren que con independencia de la dieta que se utilice y la raza, el valor promedio es de $km=0.60$.

Sin embargo, el valor (0.46 ± 0.03) obtenido de la EM para kg fue bajo, aunque para ovinos de la raza Pelibuey está dentro del rango ($0.38-0.48$) expresado por Duarte *et al.*, (2012), valor que, según el propio autor varía con la edad y el peso de los animales, siendo mayor a edades tempranas y disminuye con la madurez, dado por la mayor deposición de grasa en el tejido corporal. Además, se aprecia que los valores de km y kg se relacionan ($r= 0.87$ vs 0.95) con el aumento de la concentración energética de la ración, efecto que permite atribuir que en condiciones similares a las del presente estudio, para satisfacer los requerimientos de los animales, sería necesario incrementar el aporte energético de la ración.

La realidad es que, según Roque *et al.*, (2020) los valores logrados de km y kg en este estudio están dentro del rango de eficiencia de uso de la EM para mantenimiento y crecimiento para especies de rumiantes.

CONCLUSIONES

La inclusión del 40% de morera y leucaena con el 60% *Cenchrus purpureus* híbrido Cuba OM-22 en la ración totalmente mezclada, mejoró el consumo de materia seca. La metabolizabilidad (qm) de la energía bruta y la eficiencia utilización de la energía metabolizable ingerida para el mantenimiento fue alta, pero baja para el crecimiento.

REFERENCIAS

- AFRC (Agricultural and Food Research Council). (1993). *Energy and protein requirements of ruminants*. An Advisory Manual Prepared by the AFRC Technical Committee on Responses to Nutrients, Oxford: CAB International.
- AFRC (Agricultural and Food Research Council). (1995). *Energy and protein requirements of ruminants and advisory manual prepared by the AFRC Technical Committee on Responses to Nutrients*. Wallingford: CAB International, 159.
- Aguirre, L. A., Gutiérrez, D., Rodríguez, Z., Chuquirima, D., & Abad, R. (2019). Productive performance of grazing lambs supplemented with fermented coffee pulp. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 53(1). <http://www.cjascience.com/index.php/CJAS/article/view/867>

- AOAC (Association of Official Agricultural Chemists). (2005). *Association of Official Analytical Chemistry. International Official Methods of Analysis*. 15th Ed. The Association of Official Analytical Chemists: chapter Washington. U.S.A. 684
- Aragadvay Yungán, R. G. (2020). Consumo voluntario de forrajes ricos en compuestos secundarios: efecto sobre la producción de metano entérico, fermentación ruminal y síntesis de proteína microbiana en ovinos. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/63035/>
- Arteaga Wences, Y. J. (2018). Influencia del nivel de proteína sobre el rendimiento productivo, la energética de la dieta y las características de la canal de corderos de pelo terminados con dietas isocalóricas. <https://repositorioinstitucional.uabc.mx/handle/20.500.12930/2697>
- Cangiano, C. A., & Cangiano, C. (1997). Consumo en Pastoreo—Factores que Afectan la Facilidad de cosecha. *Producción Animal en Pastoreo. Edición Carlos A. Cangiano. INTA-EEA Balcarce, págs. 41, 60.*
- Cantaro Segura, J. L. (2018). Consumo de alimento y comportamiento ingestivo de vacas al pastoreo en época lluviosa en la Sierra Central del Perú. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3707>
- Chacón Góngora, P. A. (2018). Uso de *Tithonia diversifolia* como forraje alternativo para la reducción de emisiones de óxido nitroso en excretas de vacas. https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8924/Uso_de_Tithonia_diversifolia.pdf?sequence=1
- Chay-Canul, A. J., Magaña-Monforte, J. G., Chizzotti, M. L., Piñeiro-Vázquez, A. T., Canul-Solís, J. R., Ayala-Burgos, A. J., ... & Tedeschi, L. O. (2016). Energy requirements of hair sheep in the tropical regions of Latin America. Review. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 7(1), 105-125. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11242016000100105&script=sci_arttext&tlng=en
- CSIRO (Australian Agricultural Council). (1990). *Feeding standards for Australian livestock: Ruminants*. 23, 266. https://books.google.com/cu/books/about/Feeding_Standards_for_Australian_Livesto.html?id=pat_ou8Fh1cC&redir_esc=y
- Della Rosa, M. M. (2018). *Variaciones en la calidad de la carne asociadas al consumo residual de bovinos en pastoreo* (Doctoral dissertation, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata). <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/7213>
- Di Rienzo, J. A. (2016). InfoStat versión 2009. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
- Duarte, F., Castro, C. A. S., Franco, L. A. S., Tedeschi, L. O., & Santos-Ricalde, R. H. (2012). Energy and protein requirements of growing Pelibuey sheep under tropical conditions estimated from a literature database analyses. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 15(1). <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/1223>

- Duncan, D. B. (1955). Multiple range and multiple F tests. *biometrics*, 11(1), 1-42. <https://www.jstor.org/stable/3001478>
- Espinoza, C., & Bionel, A. (2018). Evaluación de cuatro fuentes de suplementación de proteína vegetal en dietas de vacas holstein en producción. <https://repositorioinstitucional.uabc.mx/bitstream/20.500.12930/1400/1/AGR012625.pdf>
- Galindo-Blanco, J. L., Rodríguez-García, I., González-Ybarra, N., García-López, R., & Herrera-Villafranca, M. (2018). Ecosistema con *Leucaena leucocephala*: su efecto en la población microbiana ruminal en toros en ceba. *Pastos y Forrajes*, 41(2), 138-144. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942018000200008
- Galvez-Luis, J., Yóng-Ángel, G., Arriaga-Jordan, C. M., & López-González, F. (2020). Uso de suplementos energéticos sobre la producción de leche en un sistema silvopastoril use of energy supplements on milk production in a silvopastoral system. *Revista Electrónica Nueva Época Veterinaria*, 2448, 25. https://veterinaria.uaemex.mx/images/Documentos_veterinaria/Cultura/Revista/revista_electronica_diciembre_2020_.pdf#page=25
- Goering, H. K., & Van Soest, P. J. (1994). Forage fiber analysis. Agricultural handbook no. 379. *US Department of Agriculture, Washington, DC*, 1-20.
- Gutiérrez, D., & Borroto, H. (2020). Voluntary intake and ruminal pH as fermentation indicators in sheep fed a lactic probiotic. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 54(4). <http://cjascience.com/index.php/CJAS/article/view/990>
- Gutiérrez, D., García, Y., & Sosa, D. (2020b). "El efecto de *Lactobacillus pentosus* LB-31 como aditivo microbiano en la alimentación de corderos". *Livestock Research for Rural Development*, 32(3), <https://www.lrrd.cipav.org.co/lrrd32/3/yanei32043.html>
- Gutiérrez-González, D., González-González, N. N., Elías-Iglesias, A., García-López, R., & Tuero-Martínez, O. R. (2018). Efecto de diferentes proporciones de *Moringa oleífera*: *Cenchrus purpureus* sobre el consumo voluntario y el balance de nitrógeno. *Pastos y Forrajes*, 41(3), 227-232. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03942018000300010&script=sci_arttext&tlng=pt
- Hoover, W. H., & Stokes, S. R. (1991). Balancing carbohydrates and proteins for optimum rumen microbial yield. *Journal of dairy science*, 74(10), 3630-3644. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030291785536>
- Lee, M. A. (2018). A global comparison of the nutritive values of forage plants grown in contrasting environments. *Journal of plant research*, 131(4), 641-654. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10265-018-1024-y>
- Lorda, H. O., & Pordomingo, A. J. (2020). Digestibilidad "In vivo" y consumo del forraje diferido de *Digitaria eriantha* Steud y *Bothriochloa intermedia* (R. Brown) Camus. *Semiárida*, 2(2), 61-74. <http://170.210.120.55/index.php/semiarida/article/view/5152>

- Carlos Magofke, J., González, H., & García, X. (2000). Genetic component of energy efficiency in dairy cows. *Avances en Producción Animal*, 25(1/2), 3-22. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20013067915>
- Martínez, J. P. Z., Lagunes, F. I. J., Utrera, Á. R., Lagunes, M. M., & Islas, A. F. (2022). Consumo de FDN y su efecto sobre la respuesta a la IATF en vacas del trópico de México. *Revista MVZ Córdoba*, 27(1), 4. <https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA687633624&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=01220268&p=AONE&sw=w&userGroupName=anon%7E73eb171a>
- Mayer, A. F., Zamora, A., Mejías, R., Cárdenas, V. T., & Méndez, P. M. (2018). Improved management of Panicum maximum cv. Likoni. Its effect on the productive and economic response of Siboney heifers (5/8 Holstein and 3/8 Cebu). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 52(3), 270-282. <https://www.redalyc.org/journal/1930/193060480004/193060480004.pdf>
- Minson, D. J. (1982). Effect of chemical composition on feed digestibility and metabolisable energy. *Nutr. Abst. Rev.*, 52, 591-615. <https://cir.nii.ac.jp/crid/1572824500480592128>
- NRC (National Research Council) (2006). *Nutrient Requirements of Small Ruminants*. National Academy Press. Washington, DC.
- Núñez-Torres, O. P., & Rodríguez-Barros, M. A. (2019). Subproductos agrícolas, una alternativa en la alimentación de rumiantes ante el cambio climático. *Journal of the Selva Andina Animal Science*, 6(1), 24-37. <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/198/1981123004/1981123004.pdf>
- Parra, D.M. (2022). *Estimación del consumo voluntario y digestibilidad de la materia orgánica en ovinos mediante el análisis fecal por espectroscopia de reflectancia infrarroja cercana*. Tesis presentada para optar por título de Magister en Producción animal Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/81546/1069723407.2022.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Pérez Martell, L. S. (2021). *Mejoramiento del consumo de rastrojo de maíz por rumiantes como estrategia para aumentar la producción animal* (Doctoral dissertation). http://193.122.196.39:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/4764/Perez_Martell_LS_DC_E_DAR_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Pierrugues, R. I. R., & Viera, R. V. G. (2021). Reseña sobre aspectos nutricionales para el desarrollo sostenible de sistemas ganaderos basados en pastos y forrajes tropicales. *Revista Ecuatoriana de Ciencia Animal*, 5(2), 75-88. <http://revistaecuatorianadecienciaanimal.com/index.php/RECA/article/view/275>

- Piñeiro-Vázquez, A. T., Ayala-Burgos, A. J., Chay-Canul, A. J., & Ku-Vera, J. C. (2013). Dry matter intake and digestibility of rations replacing concentrates with graded levels of *Enterolobium cyclocarpum* in Pelibuey lambs. *Tropical Animal Health and Production*, 45(2), 577-583. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11250-012-0262-6>
- Rodríguez, L. A. (2018). *Uso de mezclas integrales con diferentes proporciones de Moringa oleífera, Cenchrus purpureus cv Cuba OM-22 y caña de azúcar (Saccharum officinarum) en la alimentación de corderos* (Doctoral dissertation, Master Thesis. Departamento de Rumiantes, Instituto de Ciencia Animal, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba).
- Rodríguez, R., Galindo, J., Ruiz, T. E., Solis, C., Scull, I., & Gómez, S. (2019). Valor nutritivo de siete ecotipos de *Tithonia diversifolia* colectados en la zona oriental de Cuba. *Livestock Research for Rural Development*, 31(8). <http://lrrd.cipav.org.co/lrrd31/8/ruiz31119.html>
- Savón, L., Scull, I., Orta, M., & Torres, V. (2004). Physicochemical characterization of the fibrous fraction of five tropical foliage meals for monogastric species. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 38(3), 281-286.
- Sobrevilla, H. G. (2018). *Evaluación in vitro de ureas de lenta liberación para rumiantes*. (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León). <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3707/cantaro-segura-jose-luis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vázquez-Carrillo, M. F., Montelongo-Pérez, H. D., González-Ronquillo, M., Castillo-Gallegos, E., & Castelán-Ortega, O. A. (2021). Partición de la energía bruta consumida y el aporte de energía metabolizable en bovinos F1: Partición de la energía en bovinos. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(2). <https://doi.org/10.19136/era.a8n2.297>
- Vérité, R., & Demarquilly, C. (1978). Qualité des matières azotées des aliments pour ruminants. *La vache laitière, INRA, Versailles*, 143-147.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Concepción y diseño de la investigación: DGG, ARB; análisis e interpretación de los datos: DGG, ARB; redacción del artículo: DGG, ARB.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflicto de intereses.