

Artículo científico

Evaluación del valor nutricional de los forrajes en un sistema silvopastoril

Evaluation of the nutritional value of forages in a silvopastoral system

Onel López-Vigoa¹, Luis Lamela-López¹, Tania Sánchez-Santana¹, Yuseika Olivera-Castro¹, Roberto García-López², Magaly Herrera-Villafranca² y Manuel González-Ronquillo³¹Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, Universidad de Matanzas, Ministerio de Educación Superior Central España Republicana, CP 44280, Matanzas, Cuba²Instituto de Ciencia Animal, Universidad Agraria de La Habana, Ministerio de Educación Superior San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba³Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México, México

Correo electrónico: olopez@ihatuey.cu

https://orcid.org/0000-0001-7436-4008

Resumen

El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la época del año sobre la producción y el valor nutricional de los forrajes, en una asociación de *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs con *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. Se realizaron muestreos del componente herbáceo y del estrato arbóreo; y se estimó la disponibilidad y la composición química en la gramínea, la leguminosa voluble y la leñosa. La disponibilidad de las gramíneas fue elevada en ambas épocas, pero superior ($p < 0,001$) en la lluviosa (ELL) con respecto a la poco lluviosa (EPLL), con valores de 5 895,2 y 3 763,1 kg de MS/ha/rotación, respectivamente. La disponibilidad de follaje de *L. leucocephala* fue similar para ambas épocas del año (85,7 y 72,1 kg de MS/ha/rotación para la ELL y la EPLL, respectivamente). La DIVMS₉₆ en *M. maximus* resultó adecuada (≈ 650 g/kg de MS) y similar para las dos épocas del año. La EM mostró valores superiores ($p < 0,001$) en la ELL (7,8 vs 7,0 MJ/kg de MS). La PB fue superior ($p = 0,004$) en la EPLL (13,8 vs 11,4 %), mientras que la FDN y la FDA no difirieron entre las épocas. En *L. leucocephala* la DIVMS₉₆ ($p = 0,003$), la EM ($p = 0,009$) y la PB ($p = 0,003$) fueron superiores en la EPLL con respecto a la ELL (601,5 vs 545,1 g/kg de MS; 7,3 vs 6,8 MJ/kg de MS; 27,9 vs 24,8 %, respectivamente). En *Neonotonia wightii* (Wight & Arn.) J.A. Lackey todos los indicadores fueron similares para ambas épocas, con una excelente DIVMS₉₆ (641,4-667,2 g/kg de MS) y PB (18,1-20,6 %) y adecuada EM (7,4-7,7 MJ/kg de MS). La asociación de gramíneas mejoradas con *L. leucocephala*, en condiciones de producción, mostró una elevada disponibilidad de biomasa total y de PB por hectárea; la cual, aun cuando fue superior en la época lluviosa, demostró el potencial de estos sistemas para garantizar una adecuada producción de alimento durante todo el año.

Palabras clave: composición química, disponibilidad de nutrientes, *Leucaena leucocephala*, *Megathyrsus maximus*

Abstract

The objective of the study was to evaluate the effect of season on the forage production and nutritional value, in an association of *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs with *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. The herbaceous component and tree stratum were sampled; and the availability and chemical composition in the grass, twining legume and tree were estimated. The grass availability was high in both seasons, but higher ($p < 0,001$) in the rainy season (RS) with regards to the dry season (DS), with values of 5 895,2 and 3 763,1 kg DM/ha/rotation, respectively. The availability of *L. leucocephala* foliage was similar for both seasons (85,7 and 72,1 kg DM/ha/rotation for the RS and DS, respectively). The IVDMD₉₆ in *M. maximus* was adequate (≈ 650 g/kg DM) and similar for both seasons. The ME showed higher values ($p < 0,001$) in the RS (7,8 vs 7,0 MJ/kg DM). The CP was higher ($p = 0,004$) in the DS (13,8 vs 11,4 %), while the NDF and ADF did not differ between seasons. In *L. leucocephala* the IVDMD₉₆ ($p = 0,003$), ME ($p = 0,009$) and CP ($p = 0,003$) were higher in the DS compared with the RS (601,5 vs 545,1 g/kg DM; 7,3 vs 6,8 MJ/kg DM; 27,9 vs 24,8 %, respectively). In *Neonotonia wightii* (Wight & Arn.) J.A. Lackey all the indicators were similar for both seasons, with an excellent IVDMD₉₆ (641,4-667,2 g/kg DM) and CP (18,1-20,6 %) and adequate ME (7,4-7,7 MJ/kg DM). The association of cultivated grasses with *L. leucocephala*, under production conditions, showed high availability of total biomass and CP per hectare; which although higher in the rainy season, showed the potential of these systems to guarantee adequate food production throughout the year.

Keywords: chemical composition, nutrient availability, *Leucaena leucocephala*, *Megathyrsus maximus*

Introducción

Los pastos y los forrajes son la principal fuente de alimento para los rumiantes y representan el mayor volumen de la dieta, ya que son más baratos, tienen una gran capacidad de producción y crecen fácilmente (Lee *et al.*, 2017). Por otro lado, el consumo de nutrientes es uno de los principales factores que restringe la producción animal en el trópico y solo se puede controlar si el valor nutricional de los forrajes no constituye un factor limitante (Olafadehan y Okunade, 2018).

La producción ganadera depende, en gran medida, de los factores climáticos y meteorológicos; por ello, la transición anual de las condiciones climáticas, fundamentalmente en cuanto a la temperatura, la humedad relativa y las precipitaciones, genera la correspondiente variabilidad en la producción y el valor nutritivo de los forrajes. En tal sentido, la ganadería tropical basada en el pastoreo de gramíneas en monocultivo enfrenta grandes desafíos, especialmente en la época de sequía, durante la cual disminuyen de manera drástica la disponibilidad y la calidad de los forrajes (Cuartas-Cardona *et al.*, 2014).

Por otra parte, la determinación de la capacidad de producción actual de los pastos, junto a la presión en relación con el uso de la tierra para la producción ganadera, se ha convertido en uno de los principales desafíos para desarrollar la planificación integrada y la toma de decisiones en los sistemas tropicales de pastoreo (Crestani *et al.*, 2013).

Ello explica la necesidad de adoptar sistemas sostenibles de producción ganadera que aprovechen las ventajas del manejo integrado en el contexto biofísico del neotrópico, donde los paisajes naturales y los bosques mixtos se usan incorrectamente como sistemas de pastoreo extensivo. Por tanto, la conversión ambiental basada en el silvopastoreo constituye una alternativa promisoría para enfrentar estos problemas (Murgueitio-Restrepo *et al.*, 2011), ya que los sistemas con árboles son capaces de conservar la biodiversidad (Schindler *et al.*, 2016), aportar servicios ambientales a los ecosistemas (Martínez-Pastur *et al.*, 2017), incrementar tanto cualitativa como cuantitativamente la oferta de forraje al ganado (Carvalho *et al.*, 2017), así como minimizar el desbalance en la producción de alimentos que caracteriza a los sistemas sin árboles (Murgueitio-Restrepo *et al.*, 2016).

La composición química y la morfología de los forrajes determinan la palatabilidad y el valor nutricional para el ganado, por lo cual influyen en la cantidad de alimento que se consume, la eficiencia

de la rumia, la tasa de ganancia de peso, el volumen y la calidad de la leche que se produce, y en el éxito reproductivo (Herrero *et al.*, 2015). De ahí que, el objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la época del año en la producción y el valor nutritivo de los forrajes, en una asociación de *Megathyrus maximus* con *Leucaena leucocephala*.

Materiales y Métodos

Ubicación del área experimental. La investigación se desarrolló durante cinco años en condiciones de producción, en el área de pastoreo de la vaquería 66, perteneciente a la Empresa Pecuaria Genética de Matanzas –Cuba–, la cual se ubica geográficamente en los 22° 58' 39" de latitud norte y los 81° 29' 55,66" de longitud oeste, a 100 msnm (Academia de Ciencias de Cuba, 1989).

Características edafoclimáticas. El suelo se clasifica como Pardo con Carbonatos (Hernández-Jiménez *et al.*, 2015), con relieve ondulado. El clima es cálido tropical (Centro del Clima, 2018). Los valores de las variables climatológicas en la etapa experimental se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Comportamiento de las variables climatológicas en el período experimental.

Variable	ELL	EPLL
Temperatura (°C)		
Máxima	32,6	28,8
Promedio	26,5	22,4
Mínima	17,8	15,2
Humedad relativa (%)		
Máxima	96,2	95,0
Promedio	79,6	73,5
Mínima	51,1	43,4
Precipitación (mm)		
Acumulado	1 338,8	222,4
Evaporación (mm)		
Día	153,6	138,3
Noche	50,2	47,9
24 horas	198,1	186,2
Viento (km/h)		
Máximo	64,3	55,5
Promedio	6,3	8,2
Nubosidad (octavos)		
Promedio	3,3	2,4

ELL: época lluviosa, EPLL: época poco lluviosa.

Descripción del área de pastoreo y el manejo.

El área de pastoreo (42 ha) fue dividida en 36 cuartones de aproximadamente 1,2 ha cada uno. Como gramínea mejorada, predominó *M. maximus* cv. Likoni; mientras que la leguminosa arbórea del sistema fue *L. leucocephala* cv. Cunningham, que tenía 10 años de establecida y se sembró a una distancia entre surcos de 5 m, con densidad promedio de 553 plantas/hectárea. Para el manejo con los animales, la superficie de pastoreo se fraccionó en tres áreas de 12 cuartones cada una; el tiempo de ocupación fue de 3,0-3,5 días en la ELL y de 4,5-5,0 días en la EPLL, lo que permitió garantizar tiempos de reposo al pasto de 33-39 días y de 50-55 días para la ELL y la EPLL, respectivamente. La carga promedio utilizada fue de 2,0 UGM/ha.

Las plantas de *L. leucocephala* se podaron en el período de febrero-abril, a 1,7 m de altura, en una cantidad aproximada de 15 árboles por día de ocupación en cada rotación comprendida en el período de poda.

Mediciones en la comunidad vegetal

Composición florística. Se realizó semestralmente en mayo y noviembre, por el método de los pasos descrito por EEPFIH (1980).

Densidad de plantas de *L. leucocephala*. Se estimó con una frecuencia semestral (mayo y noviembre). Para ello, se contó la cantidad de plantas de *L. leucocephala* en tres surcos característicos de cada cuartón, se halló el promedio entre ellos, el resultado se multiplicó por la cantidad de surcos en el cuartón y este valor se dividió entre el área.

Estimación de la disponibilidad para ramoneo en *L. leucocephala*. Con frecuencia mensual, se recolectaron manualmente las hojas y los tallos tiernos comestibles (hasta aproximadamente 3 mm de diámetro) en 10 de los árboles establecidos en cada cuartón, simulando el ramoneo que realizan los animales hasta una altura aproximada de 2 m.

Disponibilidad del pasto. Se realizó mensualmente, a través del método alternativo propuesto por Martínez *et al.* (1990) a la entrada y a la salida de los animales del cuartón; y se efectuaron, como promedio, 80 observaciones por hectárea.

Análisis químico proximal de los alimentos. Con frecuencia mensual, se envió al laboratorio una muestra homogénea de 300 g de follaje de *L. leucocephala*, 300 g de la biomasa comestible de *M. maximus* y 300 g de forraje de *Neonotonia wightii*, cosechados según la metodología propuesta por

Herrera (2006). Se midieron los siguientes indicadores: materia seca (MS), ceniza, materia orgánica (MO), proteína bruta (PB) y extracto etéreo (EE), según las técnicas descritas por la AOAC (1990). Las fracciones fibrosas –fibra en detergente neutro (FDN), fibra en detergente ácido (FDA)– y la lignina se analizaron mediante los procedimientos referidos por Van Soest *et al.* (1991), sin corrección por cenizas, usando bolsas de filtro ANKOM F-57 en un analizador de fibras ANKOM²⁰⁰ (ANKOM Technology Corporation, Fairport, NY, USA). La hemicelulosa y la celulosa se calcularon mediante la diferencia entre la FDN, la FDA y la lignina. El nitrógeno ligado a la FDN (N-FDN) se estimó de acuerdo con los procedimientos propuestos por Licitra *et al.* (1996).

Degradabilidad in vitro de la MS de los alimentos. Se estimó a las 96 h de la fermentación, a través de la técnica de producción de gas (PG) *in vitro* propuesta por Theodorou *et al.* (1994).

Estimación de la energía metabolizable (EM). La EM (MJ/kg MS) se estimó de acuerdo con Menke y Steingass (1988):

$$EM(\text{MJ/kg MS}) = 2,20 + 0,136 * PG_{24}(\text{mL}/200 \text{ mg MS}) + 0,057 * PB$$

Donde:

PG_{24} : volumen de gas a las 24 h

PB (% MS): contenido de proteína bruta del alimento.

Procedimiento estadístico. Para las variables correspondientes a la composición florística se comprobó, mediante el programa Statistica, el cumplimiento de los supuestos teóricos del análisis de varianza: la homogeneidad de la varianza por la dócima de Levene (1960) y la normalidad de los errores por la dócima de Shapiro y Wilk (1965). Al evidenciarse que no se cumplieron dichos supuestos, se aplicó la transformación ArcoSeno $\sqrt{\%}$, que tampoco posibilitó su cumplimiento.

Por ello, con el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2012) se realizó un análisis no paramétrico (Kruskal-Wallis), y se utilizó la dócima de Conover (1999) para la comparación de los rangos medios. Para las variables propias de la disponibilidad de MS y PB de la gramínea y de la leucaena, así como para los datos correspondientes al valor nutricional de los alimentos de la dieta, se realizó análisis de varianza según modelo lineal general. En el modelo se tuvo en cuenta el efecto época, y se aplicó la dócima de LSD-Fisher para $p < 0,05$.

Resultados y Discusión

En la tabla 2 se presentan los resultados de la composición florística del pastizal por época del año. Se constató que, en ambas épocas, aproximadamente el 70 % del área estuvo cubierta por pastos mejorados (*M. maximus*, *Cynodon nlemfuensis* Vanderyst y *Urochloa mutica* (Forssk.) T.Q.Nguyen), los cuales a su vez estuvieron representados en más de un 70 % por la especie *M. maximus*; mientras que los pastos naturales ocuparon entre el 14,0 y el 17,8 % del área de pastoreo, sin diferencias entre las épocas del año, y las principales especies estuvieron representadas por el complejo *Dichanthium annulatum* (Forssk.) Stapf - *Dichanthium caricosum* (L.) A. Camus, *Paspalum notatum* Alain ex Flügge, *Cynodon dactylon* (L.) Pers., *Hyparrhenia rufa* (Nees) Stapf, *Sporobolus indicus* (L.) R. Br. y *Phylla strigillosa*.

Las leguminosas volubles, entre las cuales *N. wightii* representó más del 80 %, surgieron de forma natural en el sistema y tuvieron una presencia significativamente superior ($p = 0,009$) en la ELL respecto a la EPLL. Además, se encontró que los valores fueron ligeramente superiores a los informados por Lamela *et al.* (2009) en un sistema silvopastoril (asociación de *L. leucocephala* con *C. nlemfuensis*), en el cual las leguminosas volubles igualmente aparecieron de forma espontánea (3,0-4,0 %).

Las plantas arvenses (*Acacia farnesiana* (L.) Willd., *Dichrostachys cinerea* (L.) Wight & Arn., *Mimosa pudica* L. y *Ricinus communis* L., entre otras) tuvieron una presencia relativamente baja en el sistema, con valores similares para ambas épocas

(6,4 y 5,6 % para la ELL y la EPLL, respectivamente); de igual forma, las zonas despobladas fueron escasas (0,01-0,49 %) y no manifestaron diferencias en cuanto a la representación en el área entre las épocas del año.

Los pastos mejorados más las leguminosas volubles, que constituyen la mayor fracción de la dieta y presentan el mejor valor nutricional con respecto al resto de los alimentos que consumen los animales en pastoreo, representaron de conjunto entre el 76,1 y el 79,6 % del total del área de pasto; mientras que la superficie que ocuparon las plantas arvenses más las zonas despobladas, que constituye el área que no produce alimento de forma directa para los animales, significó entre el 6,1 y el 6,4 % del área de pastizal.

La disponibilidad de las gramíneas (tabla 3) fue alta en ambas épocas del año, aunque manifestó diferencias significativas ($p < 0,001$) a favor de la ELL. Por el contrario, la disponibilidad de follaje en *L. leucocephala* fue relativamente baja, pero similar en las dos épocas (85,7 y 72,1 kg de MS/ha/rotación para la ELL y la EPLL, respectivamente). No obstante, estos valores son superiores al informado por Sánchez-Santana *et al.* (2016) para una asociación de *M. maximus* y *L. leucocephala*, donde la disponibilidad de forraje de la leñosa, con densidad de 236-364 plantas/ha, fue solo de 13,3 kg de MS/ha/rotación.

Por otra parte, la disponibilidad de biomasa total del sistema resultó elevada en ambas épocas del año; no obstante, presentó el mismo comportamiento que la disponibilidad de la gramínea, con diferencias significativas ($p < 0,001$) a favor de la ELL.

Tabla 2. Composición florística del pastizal por época del año*.

Indicador	ELL	EPLL	Valor-P
Pastos mejorados	20,5 ± 18,88 (69,9)	25,8 ± 22,56 (70,7)	0,213
Pastos naturales	20,6 ± 20,57 (14,0)	25,8 ± 23,36 (17,8)	0,218
Leguminosas volubles	31,3 ± 5,63 (9,7)	20,3 ± 4,15 (5,4)	0,009
Plantas arvenses	25,3 ± 4,37 (6,4)	23,3 ± 4,85 (5,6)	0,645
PM + LV	25,1 ± 22,16 (79,6)	23,4 ± 25,16 (76,1)	0,694
PA + Zonas despobladas	24,5 ± 4,33 (6,4)	23,7 ± 4,56 (6,1)	0,857

* Rango medio ± desviación estándar (media aritmética expresada en %), ELL: época lluviosa, EPLL: época poco lluviosa, PM: pastos mejorados, PA: plantas arvenses, LV: leguminosas volubles.

Tabla 3. Disponibilidad de MS (kg MS/ha/rotación) y PB (kg PB/ha/rotación) de los forrajes del SSP.

Disponibilidad		$\bar{X} \pm EE$		Valor-P
		ELL	EPLL	
Materia seca	Gramínea	5 895,2 ± 309,64	3 763,1 ± 336,71	<0,001
	Leucaena	85,7 ± 9,84	72,1 ± 10,70	0,351
	Total	5 980,9 ± 309,99	3 835,1 ± 337,09	<0,001
Proteína bruta	Gramínea	471,4 ± 25,28	331,5 ± 27,49	<0,001
	Leucaena	23,9 ± 2,74	20,1 ± 2,98	0,350
	Total	495,3 ± 25,48	351,6 ± 27,71	<0,001

ELL: época lluviosa, EPLL: época poco lluviosa.

Es necesario destacar que, aun cuando las precipitaciones durante la EPLL representaron solo el 14,3 % del total anual, la disponibilidad de MS en esta época significó aproximadamente el 31 % de la disponibilidad anual, por lo que el sistema contribuyó a lograr un mejor balance en la producción de alimentos entre ambas épocas del año al compararse con los sistemas sin árboles, donde la biomasa disponible en la EPLL puede llegar a representar menos del 20 % con respecto a la disponibilidad de MS anual. Estos resultados evidencian la importancia de asociar las gramíneas mejoradas con plantas arbóreas, principalmente leguminosas (*L. leucocephala*), ya que permiten no solo incrementar la producción de biomasa comestible del sistema, sino también garantizar una mayor estabilidad productiva entre las épocas del año (Sánchez-Santana *et al.*, 2018).

La disponibilidad de PB de la gramínea fue alta en ambas épocas del año, pero significativamente superior ($p < 0,001$) en la ELL debido a la mayor disponibilidad de MS que manifestó el pasto en esa época. En cambio, la disponibilidad de PB de *L. leucocephala* fue baja y similar para las dos épocas. Ello determinó que la disponibilidad de proteína bruta total siguiera la misma tendencia que la disponibilidad de PB de la gramínea, con diferencias significativas ($p < 0,001$) favorables a la ELL.

Los valores de disponibilidad de PB del sistema en ambas épocas del año propiciaron que se alcanzaran 3 501,6 kg de PB/ha/año, resultado satisfactorio para las condiciones de producción de Cuba, aunque inferior (4 100,0 kg) al informado por Bacab *et al.* (2013) en un sistema silvopastoril intensivo constituido por una asociación de *L. leucocephala* (10 000 plantas/ha) y *Cynodon plectostachyus*.

Los indicadores del valor nutricional de *M. maximus* por época del año se presentan en la

tabla 4. El contenido de MO fue óptimo y presentó valores superiores ($p = 0,044$) en la ELL. La DIVMS a las 96 h fue elevada y mostró el mismo comportamiento en ambas épocas del año, con valores promedio de 655,1 y 649,5 g/kg de MS para la ELL y la EPLL, respectivamente, que están en el rango recomendado por Arango *et al.* (2016) para esta especie (600-700 g/kg de MS). Además, dichos valores son similares al informado por Santiago-Hernández *et al.* (2016) en un sistema de *M. maximus* vcs. Mombaza y Tanzania (657,0 g/kg de MS) asociados con *Melia azedarach* L., sembrada con una densidad de 1 000 plantas por hectárea. Sin embargo, son ligeramente superiores a los obtenidos por Frota *et al.* (2017) en *M. maximus* vc. Mombaza en asociación con *Attalea speciosa* Mart. (629,9 y 609,8 g/kg de MS para la ELL y la EPLL, respectivamente).

La EM en el forraje de *M. maximus* fue relativamente baja en las dos épocas del año y mostró un valor superior ($p < 0,001$) en la ELL, similar al informado por Heuzé *et al.* (2015), estimado mediante la técnica de producción de gas *in vitro* (7,9 MJ/kg de MS). El contenido de PB fue significativamente superior ($p = 0,004$) en la EPLL con respecto a la ELL, lo que pudo estar asociado a la disminución en la intensidad de luz solar en esa época del año y a la capacidad de *M. maximus* de tolerar condiciones limitantes de luz. Según Santiago-Hernández *et al.* (2016), en tales condiciones esta especie cambia su fisiología, con lo cual disminuye la producción de biomasa, pero mejora su calidad nutricional.

El contenido de PB en la biomasa comestible de *M. maximus*, en ambas épocas del año, fue superior al descrito para las gramíneas tropicales en monocultivo (Gaviria *et al.*, 2015), lo que se debe a la asociación de *M. maximus* con los árboles (Silva-Parra *et al.*, 2018), en este caso *L. leucocephala*, leguminosa capaz de fijar nitrógeno atmosférico al suelo

Tabla 4. Indicadores del valor nutricional de *M. maximus*.

Indicador	$\bar{X} \pm EE$		Valor-P
	ELL	EPLL	
Materia seca, %	31,2 \pm 1,15	31,0 \pm 1,08	0,840
MO, %	87,8 \pm 1,22	86,6 \pm 1,39	0,044
DIVMS ₉₆ , g/kg MS	655,1 \pm 46,97	649,5 \pm 62,17	0,831
EM, MJ/kg MS	7,81 \pm 1,14	7,00 \pm 0,64	<0,001
EE, %	1,31 \pm 0,22	1,36 \pm 0,26	0,137
PB, %	11,4 \pm 1,69	13,8 \pm 1,94	0,004
N-FDN, %	45,6 \pm 5,03	43,7 \pm 4,96	0,612
FDN, %	68,7 \pm 2,54	68,0 \pm 1,93	0,665
FDA, %	35,2 \pm 1,69	34,4 \pm 2,65	0,416
Celulosa, %	29,8 \pm 2,37	28,1 \pm 1,27	0,087
Hemicelulosa, %	33,8 \pm 3,14	34,9 \pm 2,02	0,467
Lignina, %	5,4 \pm 2,07	4,9 \pm 0,92	0,553

ELL: época lluviosa, EPLL: época poco lluviosa.

(Conrad *et al.*, 2018) y con ello contribuir a mejorar la calidad nutricional de los pastos que se encuentran asociados a ella. Los valores para la ELL (11,5 %) fueron similares a los informados para esta gramínea, tanto en un SSP con igual densidad de *L. leucocephala* y equivalente régimen de precipitaciones (Sánchez-Santana *et al.*, 2016), como en otro con alta densidad de esta leñosa y un régimen de precipitaciones bimodal (Molina *et al.*, 2015).

En el caso del N-FDN se encontraron valores de 43,7-45,6 %, similares a lo informado por Montalvão-Lima *et al.* (2018) para la biomasa comestible de *M. maximus* (45,0 %) en monocultivo, con fertilización (20 kg de P₂O₅/ha, 60 kg de K₂O/ha, y 70 kg de N/ha), en un suelo clasificado como Oxisol, y a una altitud de 1 014 msnm.

El contenido de FDN y FDA en la biomasa comestible de *M. maximus* no difirió entre las épocas del año, lo que implica que la edad fenológica de las plantas era análoga aun cuando la edad cronológica era diferente (33-39 y 55-60 días para la ELL y la EPLL, respectivamente). Estos valores son inferiores a los informados por Rodríguez y Lara (2018) en *M. maximus* cv. Tanzania (74,9-80,7 y 41,9-57,6 % para FDN y FDA, respectivamente) en un sistema silvopastoril intensivo constituido por una asociación de *L. leucocephala* (34 000 plantas/ha) y *M. maximus*.

El contenido de hemicelulosa fue similar al informado por Patiño-Pardo *et al.* (2018) para el forraje de *M. maximus* cv. Tanzania, cosechado entre 35 y 45

días en la subregión de Sabana en el Departamento de Sucre –Colombia.

Con respecto a *L. leucocephala* (tabla 5), el contenido de MO fue adecuado y con valores similares en las dos épocas del año. Por otra parte, la DIVMS₉₆ mostró un valor superior ($p = 0,003$) en la EPLL, lo que pudo deberse al menor contenido de lignina en el follaje durante esa época del año. Este indicador estuvo en el rango informado para el follaje de esta planta por Pal *et al.* (2015) y Rivera-Herrera *et al.* (2017); sin embargo, fue superior al obtenido tanto por Hernández-Morales *et al.* (2018) en hojas de *L. leucocephala* (489,7 g/kg de MS) en México, como por Vivas-Arturo *et al.* (2017) en la biomasa comestible de esta planta (412,0 g/kg de MS) en Colombia. En este último caso, el bajo valor de la digestibilidad podría estar asociado a la baja proporción de hojas con respecto a los tallos en la biomasa comestible total.

El valor de EM fue superior ($p = 0,009$) en la EPLL en relación con la ELL. Estos datos superan el valor informado por Rodríguez *et al.* (2014) en la harina del follaje de *L. leucocephala* (6,3 MJ/kg de MS); sin embargo, son inferiores a los 8,4 MJ/kg de MS informados por Heuzé y Tran (2015) para la biomasa comestible de esta planta, en ambos casos estimados mediante producción de gas *in vitro*.

El contenido de PB en el follaje de *L. leucocephala* fue superior ($p = 0,003$) en la EPLL con respecto a la ELL; sin embargo, dicho indicador presentó valores adecuados en ambas épocas del

Tabla 5. Indicadores del valor nutricional de *L. leucocephala*.

Indicador	$\bar{X} \pm EE$		Valor-P
	ELL	EPLL	
Materia seca, %	30,2 ± 1,86	30,5 ± 1,93	0,807
MO, %	90,8 ± 1,08	90,2 ± 1,34	0,188
DIVMS ₉₆ , g/kg MS	545,1 ± 84,68	601,5 ± 59,97	0,003
EM, MJ/kg MS	6,75 ± 0,56	7,33 ± 0,66	0,009
EE, %	2,54 ± 0,45	2,61 ± 0,48	0,308
PB, %	24,8 ± 1,54	27,9 ± 1,40	0,003
N en FDN, %	51,0 ± 5,68	47,9 ± 5,59	0,485
FDN, %	50,3 ± 3,99	48,9 ± 4,62	0,309
FDA, %	29,9 ± 4,91	29,6 ± 4,12	0,966
Celulosa, %	14,9 ± 4,76	19,8 ± 4,09	0,268
Hemicelulosa, %	21,4 ± 3,16	23,7 ± 2,35	0,337
Lignina, %	12,9 ± 2,61	10,0 ± 2,37	0,038

ELL: época lluviosa, EPLL: época poco lluviosa.

año (24,8 y 27,9 % para la ELL y la EPLL, respectivamente), los cuales son similares a los informados por Singh *et al.* (2014) y Cuartas-Cardona *et al.* (2015). Estos resultados demuestran la importancia de *L. leucocephala* para incrementar el contenido de PB de la dieta ofrecida a los animales en pastoreo, debido a que en tales condiciones las leguminosas aportan más proteína que las gramíneas (Carvalho *et al.*, 2017).

Por otra parte, el follaje de las leguminosas arbóreas (como *L. leucocephala*) no solo es importante por el aporte directo de PB, sino también por la presencia de taninos condensados; estos se unen a la proteína de la dieta para formar un complejo tani-no-proteína que puede insolubilizar las proteínas y de esa forma evitar su degradación en el rumen, lo que aumenta el sobrepaso de proteína hacia el tracto gastrointestinal inferior. Ello trae consigo un elevado contenido de proteínas en el intestino delgado, que, cuando se digieren incrementan la absorción de aminoácidos (Wanapat *et al.*, 2015).

El contenido de FDN y FDA en el follaje de *L. leucocephala* fue similar en ambas épocas del año, y los valores fueron inferiores a los informados por Piñeiro-Vázquez *et al.* (2017) para la biomasa comestible de esta planta en Yucatán, México (58,1 y 42,0 % para la FDN y la FDA, respectivamente). No obstante, el contenido de FDN fue superior al informado por Worknesh y Getachew (2018) en la biomasa comestible de *L. leucocephala* (34 %), cosechada con una frecuencia de corte de 45 días, en Etiopía.

El contenido de lignina en la biomasa comestible de *L. leucocephala* fue superior ($p = 0,038$) en la ELL, quizás como consecuencia de una mayor edad de los rebrotes, debido a un menor consumo por los animales durante la época del año en la que el follaje muestra el menor valor nutricional. El contenido de lignina en el follaje de *L. leucocephala* en la ELL fue similar al informado por Carvalho *et al.* (2017) en la biomasa comestible de esta leguminosa arbórea cultivada sobre un suelo latosólico rojo-amarillento, durante la ELL, en un sistema en asociación con pastos mejorados para la alimentación de cabras, en el Estado de Piauí –Brasil.

Por el contrario, el contenido de lignina que mostró el follaje de esta planta en la EPLL fue similar al informado por Worknesh y Getachew (2018) en plantas de *L. leucocephala*, cosechadas cada 45 días, en Etiopía (10,6 %).

El análisis de los indicadores del valor nutricional del forraje de *N. wightii* (tabla 6) mostró que en todos los casos hubo un comportamiento estadísticamente similar en las dos épocas del año.

La DIVMS a las 96 h fue elevada, con valores superiores a los 640 g/kg de MS en las dos épocas; ello resulta similar a lo informado por Valarini y Possenti (2006) para la biomasa comestible de *N. wightii* (640 g/kg de MS), cosechada en Brasil en un sistema con precipitación anual de 1 185 mm.

El contenido de PB (18,1-20,6 %) y la concentración de FDN (48,8-50,1 %) fueron similares

Tabla 6. Indicadores del valor nutricional de *N. wightii*.

Indicador	$\bar{X} \pm EE$		Valor-P
	ELL	EPLL	
Materia seca, %	28,0 \pm 1,98	28,3 \pm 2,01	0,707
MO, %	88,4 \pm 2,56	87,1 \pm 2,03	0,501
DIVMS ₉₆ , g/kg MS	641,4 \pm 73,64	667,2 \pm 78,41	0,570
EM, MJ/kg MS	7,67 \pm 1,92	7,40 \pm 1,98	0,694
EE, %	1,76 \pm 0,030	1,85 \pm 0,028	0,341
PB, %	18,1 \pm 3,18	20,6 \pm 3,42	0,394
N en FDN, %	35,6 \pm 4,6	32,8 \pm 4,08	0,530
FDN, %	48,8 \pm 3,58	50,1 \pm 3,29	0,576
FDA, %	31,1 \pm 3,62	30,3 \pm 3,51	0,858
Celulosa, %	19,5 \pm 3,06	22,0 \pm 3,15	0,396
Hemicelulosa, %	21,8 \pm 2,78	24,6 \pm 2,90	0,192
Lignina, %	7,5 \pm 0,82	5,9 \pm 0,74	0,430

ELL: época lluviosa, EPLL: época poco lluviosa.

a los valores informados por Carter *et al.* (2015) para el forraje de *N. wightii* (19,3 y 49,7 %, respectivamente) en Uganda. Sin embargo, la EM para rumiantes (7,40-7,67 MJ/kg de MS) –calculada mediante la técnica de producción de gas *in vitro*– fue inferior a la informada por Heuzé *et al.* (2015) para el forraje de *N. wightii* (8,10 MJ/kg de MS), estimada mediante ecuaciones.

Los valores de FDN, FDA y lignina fueron similares a los informados por Verdecia *et al.* (2017) en el forraje de *N. wightii*, cosechado con una frecuencia entre 30 y 45 días en la ELL (49,7-52,9; 27,5-29,4 y 5,8-7,2 %, respectivamente), en un sistema de monocultivo sobre suelo Pardo con Carbonatos, en la provincia Granma –Cuba.

Conclusiones

La asociación de gramíneas mejoradas con *L. leucocephala*, en condiciones de producción, mostró una elevada disponibilidad de biomasa total y de PB por hectárea; la cual, aun cuando fue superior en la época lluviosa, demostró el potencial de estos sistemas para garantizar una adecuada producción de alimento durante todo el año.

Además, la biomasa comestible de *M. maximum* presentó, en las dos épocas, un adecuado valor nutricional, con mayor concentración de EM en la ELL y un contenido de PB más elevado en la EPLL. Sin embargo, el follaje de *L. leucocephala* tuvo el mejor valor nutricional en la EPLL, fundamentalmente en cuanto a EM y DIVMS₉₆; mientras que el

forraje de *N. wightii* mostró excelentes indicadores del valor nutricional durante todo el año, por lo que la biomasa comestible de ambas leguminosas contribuye a complementar apropiadamente la dieta potencial que representa el pasto en ambas épocas.

Agradecimientos

A los colaboradores de este trabajo, a la dirección de la Empresa Pecuaria Genética de Matanzas por brindar las áreas para la realización del estudio, a la Universidad Autónoma del Estado de México en cuyos laboratorios se hizo parte del trabajo *in vitro*, y al Programa de Producción de Alimento Animal por el apoyo financiero otorgado por medio del proyecto P131LH0020018.

Referencias bibliográficas

- Academia de Ciencias de Cuba. *Nuevo Atlas Nacional de Cuba*. La Habana: Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía, 1989.
- AOAC. *Official methods of analysis*. 15th ed. Arlington, USA: Association of Official Analytical Chemistry, 1990.
- Arango, J.; Gutiérrez, J. F.; Mazabel, J.; Pardo, P.; Enciso, K.; Burkart, S. *et al. Estrategias tecnológicas para mejorar la productividad y competitividad de la actividad ganadera. Herramientas para enfrentar el cambio climático*. Cali, Colombia: CIAT, 2016.
- Bacab, H. M.; Madera, N. B.; Solorio, F. J.; Vera, F. & Marrufo, D. F. Los sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala*: una opción para la ganadería tropical. *AIA*. 17 (3):67-81, 2013.

- Carter, Natalie; Dewey, Catherine; Lukuyu, B.; Grace, Delia & de Lange, Cornelis. Nutritional value and seasonal availability of feed ingredients for pigs in Uganda. *Agricultura Tropica et Subtropica*. 48 (3-4):91-104, 2015. DOI: <https://dx.doi.org/10.1515/ats-2015-0013>.
- Carvalho, W. F. de; Oliveira, Maria E. de A.; Azevêdo, A.; Moura, R. L. de & Moura, Rosianne M. de A. da S. Energy supplementation in goats under a silvopastoral system of tropical grasses and leucaena. *Rev. Ciênc. Agron.* 48 (1):199-207, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20170023>.
- Centro del Clima. *El clima de Cuba. Características generales*. La Habana. Instituto de Meteorología. <http://www.insmet.cu/asp/genesis.asp?TB0=PLANTILLAS&TB1=CLIMAC&TB2=/clima/ClimaCuba.htm>. [22/01/2018], 2018.
- Conover, W. J. *Practical nonparametric statistics*. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1999.
- Conrad, Kathryn A.; Dalal, R. C.; Dalzell, S. A.; Allen, Diane E.; Fujinuma, R. & Menzies, N. W. Soil nitrogen status and turnover in subtropical leucaena-grass pastures as quantified by $\delta^{15}N$ natural abundance. *Geoderma*. 313 (1):126-134, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.10.029>.
- Crestani, S.; Ribeiro-Filho, H. M. N.; Miguel, M. F.; Almeida, E. X. & Santos, F. A. P. Steers performance in dwarf elephant grass pastures alone or mixed with *Arachis pintoi*. *Trop. Anim. Health Prod.* 45 (6):1369-1374, 2013. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s11250-013-0371-x>.
- Cuartas-Cardona, C. A.; Naranjo-Ramírez, J. F.; Tarazona-Morales, A. M.; Barahona-Rosales, R.; Rivera-Herrera, J. E.; Arenas-Sánchez, F. A. *et al.* Valor nutritivo y cinética de fermentación *in vitro* de mezclas forrajeras utilizadas en sistemas silvopastoriles intensivos. *Zootecnia Trop.* 33 (4):295-306, 2015.
- Cuartas-Cardona, C. A.; Naranjo-Ramírez, J. F.; Tarazona-Morales, A. M.; Murgueitio-Restrepo, E.; Chará-Orozco, J. D.; Ku-Vera, J. *et al.* Contribution of intensive silvopastoral systems to animal performance and to adaptation and mitigation of climate change. *Rev. Colomb. Cienc. Pecu.* 27 (2):76-94, 2014.
- Di Rienzo, J. A.; F., Casanoves; Balzarini, Mónica G.; Gonzalez, Laura A.; Tablada, M. & W., Robledo C. *InfoStat versión 2012*. Córdoba, Argentina: Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. 2012.
- EEPFIH. Muestreo de pastos. *Taller del IV Seminario Científico*. Matanzas. Cuba: EEPF Indio Hatuey. 1980.
- Frota, M. N. L. da; Carneiro, Maria S. de S.; Pereira, Elzânia S.; Berndt, A.; Frighetto, Rosa T. S.; Sakamoto, L. S. *et al.* Enteric methane in grazing beef cattle under full sun, and in a silvopastoral system in the Amazon. *Pesq. Agropec. Bras.* 52 (11):1099-1108, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2017001100016>.
- Gaviria, Xiomara; Rivera, J. & Barahona, R. Calidad nutricional y fraccionamiento de carbohidratos y proteína en los componentes forrajeros de un sistema silvopastoril intensivo. *Pastos y Forrajes*. 38 (2):194-201, 2015.
- Hernández-Jiménez, A.; Pérez-Jiménez, J. M.; Bosch-Infante, D. & Castro-Speck, N. *Clasificación de los suelos de Cuba 2015*. Mayabeque, Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Instituto de Suelos, Ediciones INCA, 2015.
- Hernández-Morales, J.; Sánchez-Santillán, P.; Torres-Salado, N.; Herrera-Pérez, J.; Rojas-García, A. R.; Reyes-Vázquez, I. *et al.* Composición química y degradaciones *in vitro* de vainas y hojas de leguminosas arbóreas del trópico seco de México. *Rev. Mex. Cienc. Pec.* 9 (1):105-120, 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.22319/rmcp.v9i1.4332>.
- Herrera, R. S. Métodos de muestreo en pastos y suelo. En: *Fisiología, producción de biomasa y sistemas silvopastoriles en pastos tropicales. Abono orgánico y biogás*. San José de las Lajas, Cuba: Instituto de Ciencia Animal, 2006.
- Herrero, M.; Wirsenius, S.; Henderson, B.; Rigolot, C.; Thornton, P.; Havlik, P. *et al.* Livestock and the environment: What have we learned in the last decade? *Annu. Rev. Environ. Resour.* 4:177-202, 2015. DOI: <https://10.1146/annurev-environ-031113-093503>.
- Heuzé, V. & Tran, G. *Leucaena (Leucaena leucocephala)*. INRA, CIRAD, AFZ, FAO. <https://www.feedipedia.org/node/334>. [29/03/2018], 2015.
- Heuzé, V.; Tran, G.; Giger-Reverdin, S. & Lebas, F. *Perennial soybean (Neonotonia wightii)*. INRA, CIRAD, AFZ, FAO. <https://www.feedipedia.org/node/293>. [29/03/2018], 2015.
- Lamela, L.; López, O.; Sánchez, Tania; Díaz, Magaly & Valdés, R. Efecto del sistema silvopastoril en el comportamiento productivo de vacas Holstein. *Pastos y Forrajes*. 32 (2):175-188, 2009.
- Lee, M. A.; Davis, A. P.; Chagunda, M. G. G. & Manning, P. Forage quality declines with rising temperatures, with implications for livestock production and methane emissions. *Biogeosciences*. 14:1403-1417, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5194/bg-14-1403-2017>.
- Levene, H. Robust tests for the equality of variances. In: I. Olkin, ed. *Contributions to probability and statistics*. Palo Alto, USA: Stanford University Press. p. 278-292, 1960.
- Licitra, G.; Hernández, T. M. & Van Soest, P. J. Standardization of procedures for nitrogen frac-

- tionation of ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. Technol.* 57:347-358, 1996. DOI: [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(95\)00837-3](https://doi.org/10.1016/0377-8401(95)00837-3).
- Martínez, J.; Milera, Milagros; Remy, V.; Yepes, I. & Hernández, J. Un método ágil para estimar la disponibilidad de pasto en una vaquería comercial. *Pastos y Forrajes*. 13 (1):101-110, 1990.
- Martínez-Pastur, G.; Peri, P. L.; Huertas-Herrera, A.; Schindler, S.; Díaz-Delgado, R.; Lencinas, María V. *et al.* Linking potential biodiversity and three ecosystem services in silvopastoral managed forest landscapes of Tierra del Fuego, Argentina. *Int. J. Biodivers. Sci. Ecosyst. Serv. Manage.* 13 (2):1-11, 2017. DOI: <https://10.1080/21513732.2016.1260056>.
- Menke, K. H. & Steingass, H. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid. *Anim. Res. Dev.* 28:7-45, 1988.
- Molina, I. C.; Donney's, G.; Montoya, S.; Rivera, J. E.; Villegas, G.; Chará, J. D. *et al.* The inclusion of *Leucaena leucocephala* reduces the methane production in Lucerne heifers receiving a *Cynodon plectostachyus* and *Megathyrsus maximus* diet. *LRRD*. 27 (5), 2015.
- Montalvão-Lima, D.; Abdalla-Filho, A. L.; Tavares-Lima, P. de M.; Zanuto-Sakita, G.; Pannunzio-Dias e Silva, Tairon; McManus, Concepta *et al.* Morphological characteristics, nutritive quality, and methane production of tropical grasses in Brazil. *Pesq. Agropec. Bras.* 53 (3):323-331, 2018. DOI: <https://10.1590/S0100-204X2018000300007>.
- Murgueitio-Restrepo, E.; Barahona-Rosales, R.; Flores-Estrada, Martha X.; Chará-Orozco, J. D. & Rivera-Herrera, J. E. Es posible enfrentar el cambio climático y producir más leche y carne con sistemas silvopastoriles intensivos. *Ceiba*. 54 (1):23-30, 2016. DOI: <https://10.5377/ceiba.v54i1.2774>.
- Murgueitio-Restrepo, E.; Calle, Zoraida; Uribe, F.; Calle, A. & Solorio, B. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecol. Manag.* 261:1654-1663, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.09.027>.
- Olafadehan, O. A. & Okunade, S. A. Fodder value of three browse forage species for growing goats. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 17:43-50, 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.jssas.2016.01.001>.
- Pal, K.; Patra, A. K.; Sahoo, A. & Kumawat, P. K. Evaluation of several tropical tree leaves for methane production potential, degradability and rumen fermentation *in vitro*. *Liv. Sci.* 180:98-105, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.07.011>.
- Patiño-Pardo, R. M.; Gómez-Salcedo, R. & Navarro-Mejía, O. A. Calidad nutricional de Mom-basa y Tanzania (*Megathyrsus maximus*, Jacq.) manejados a diferentes frecuencias y alturas de corte en Sucre, Colombia. *Rev. CES Med. Zootec.* 13 (1):17-30, 2018. DOI: <https://10.21615/cesmvz.13.1.2>.
- Piñero-Vázquez, A. T.; Jiménez-Ferrer, G. O.; Chay-Canul, A. J.; Casanova-Lugo, F.; Díaz-Echeverría, V. F.; Ayala-Burgos, A. J. *et al.* Intake, digestibility, nitrogen balance and energy utilization in heifers fed low-quality forage and *Leucaena leucocephala*. *Anim. Feed Sci. Technol.* 228:194-201, 2017. DOI: <https://10.1016/j.anifeedsci.2017.04.009>.
- Rivera-Herrera, J. E.; Molina-Botero, Isabel; Chará-Orozco, J.; Murgueitio-Restrepo, E. & Barahona-Rosales, R. Sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit: alternativa productiva en el trópico ante el cambio climático. *Pastos y Forrajes*. 40 (3):171-183, 2017.
- Rodríguez, A. C. & Lara, A. Calidad del forraje de sistemas silvopastoriles intensivos en Apatzingán y Tepalcatepec, Michoacán, México en tres épocas del año. *VI Congreso de Producción Animal Tropical*. [CD-ROM]. Mayabeque, Cuba: Instituto de Ciencia Animal, 2018.
- Rodríguez, R.; González, Niurca; Alonso, J.; Domínguez, Marbelis & Sarduy, Lucía. Nutritional value of foliage meal from four species of tropical trees for feeding ruminants. *Cuban J. Agric. Sci.* 48 (4):371-378, 2014.
- Sánchez-Santana, Tania; Esperance-Castañeda, Y.; Lamela-López, L.; López-Vigoa, O. & Benítez-Álvarez, M. Efecto de la suplementación con un preparado de maíz y afrecho de trigo enriquecido con torula, en la ceba de toros en silvopastoreo. *Pastos y Forrajes*. 39 (4):265-270, 2016.
- Sánchez-Santana, Tania; López-Vigoa, O.; Iglesias-Gómez, J. M.; Lamela-López, L. & Soca-Perez, Mildrey. The potential of silvopastoral systems for cattle production in Cuba. *Elem. Sci. Anth.* 2018. DOI: <https://doi.org/10.1525/elementa.334>.
- Santiago-Hernández, F.; López-Ortiz, Silvia; Ávila-Reséndiz, C.; Jarillo-Rodríguez, J.; Pérez-Hernández, P. & Guerrero-Rodríguez, J. Physiological and production responses of four grasses from the genera *Urochloa* and *Megathyrsus* to shade from *Melia azedarach* L. *Agroforest Syst.* 90:339-349, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-015-9858-y>.
- Schindler, S.; O'Neill, F. H.; Biró, M.; Damm, C.; Gasso, V.; Kanka, R. *et al.* Multifunctional floodplain management and biodiversity effects: A knowledge synthesis for six European countries. *Biodiv Conserv.* 25:1349-1382, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10531-016-1129-3>.

- Shapiro, S. S. & Wilk, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*. 52 (3/4):591-611, 1965. DOI: <https://doi.org/10.2307/2333709>.
- Silva-Parra, Amanda; Garay-Rodríguez, Seydyss & Gómez-Insuasti, A. S. Impacto de *Alnus acuminata* Kunth en los flujos de N₂O y calidad del pasto *Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov. *Colombia Forestal*. 21 (1):47-57, 2018. DOI: <https://doi.org/10.14483/2256201X.11629>.
- Singh, S.; Anele, U. Y.; Edmunds, B. & Südekum, K. H. *In vitro* ruminal dry matter degradability, microbial efficiency, short chain fatty acids, carbohydrate and protein fractionation of tropical grass-multipurpose tree species diets. *Livest. Sci.* 160:45-51, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.11.018>.
- Theodorou, M. K.; Williams, B. A.; Dhanoa, M. S.; McAllan, A. B. & France, J. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. Technol.* 48 (3-4):185-197, 1994. DOI: [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)90171-6](https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)90171-6).
- Valarini, M. J. & Possenti, R. A. Research note: Nutritive value of a range of tropical forage legumes. *Trop. grassl.* 40 (3):183-187, 2006.
- Van Soest, P. J.; Robertson, J. B. & Lewis, B. A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch carbohydrates in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74 (10):3583-3597, 1991. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2).
- Verdecia, D. M.; Herrera, R. S.; Ramírez, J. L.; Leonard, I. & Uvidia, H. Efecto de la edad de rebrote en el valor nutritivo de *Neonotonia wightii* en el Valle del Cauto, Cuba. *Libro de Memorias del Simposio internacional sobre Manejo sostenible de tierras y seguridad alimentaria*. Pastaza, Ecuador: Dirección de Investigación Universidad Estatal Amazónica, 2017.
- Vivas-Arturo, W. F.; Vera-Arteaga, D. E. & Alpiñar-Muni, J. Determinación *in vitro* de la calidad nutricional de tres leguminosas forrajeras. *Revista La Técnica*. 17:43-52, 2017.
- Wanapat, M.; Cherdthong, A.; Phesatcha, K & Kang, S. Dietary sources and their effects on animal production and environmental sustainability. *Anim. Nutr.* 1 (3):96-103, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2015.07.004>.
- Worknesh, S. & Getachew, A. Digestibility and growth performance of Dorper × Afar F1 sheep fed Rhodes grass (*Chloris gayana*) hay supplemented with alfalfa (*Medicago sativa*), lablab (*Lablab purpureus*), *Leucaena leucocephala* and concentrate mixture. *Int. J. Livest. Prod.* (4):79-87, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5897/IJLP2016.0335>.