



Revisión [Review]

Leucaena leucocephala* (LAM.) DE WIT ESPECIE CLAVE PARA UNA PRODUCCIÓN BOVINA SOSTENIBLE EN EL TRÓPICO[†]*[*Leucaena leucocephala* (LAM.) DE WIT A KEY SPECIES FOR A SUSTAINABLE BOVINE PRODUCTION IN TROPIC]**

P. A. Martínez-Hernández¹, E. Cortés-Díaz¹, R. Purroy-Vásquez², J. M. Palma-García³; P. P. Del Pozo-Rodríguez⁴ and C. Vite-Cristóbal^{1,2,*}

¹Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 carretera México-Texcoco, C.P. 56230, Texcoco, Estado de México. Email: cvitec81@hotmail.com, pedroarturo@correo.chapingo.mx, ecodia@yahoo.com.mx

²Posgrado en Producción Pecuaria Tropical, Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca. Desv. Lindero-Tamete S/N, Col. La Morita, C.P. 92100, Tantoyuca, Veracruz. Email: rubenpurroy2000@gmail.com

³Colegio Mexicano de Agroforestería Pecuaria A. C., Centro Universitario de Investigación y Desarrollo Agropecuario, Universidad de Colima. Colima, Colima. Email: palma@uacol.mx

⁴Depto. Producción Animal. Facultad de Medicina Veterinaria. Universidad Agraria de la Habana "Fructuoso Rodríguez". Apartado 18. San José de las Lajas, La Habana, Cuba. Email: delpozo@unah.edu.cu

*Corresponding author

RESUMEN

Leucaena leucocephala (Lam.) de Wit (Leucaena) es una leguminosa leñosa de uso amplio como forraje en la ganadería bovina tropical por su adaptación y productividad en este ambiente. La revisión discute beneficios de incorporar Leucaena en la alimentación de bovinos en comparación con gramíneas tropicales en monocultivo, entre los beneficios están: menor emisión de metano (CH₄); mayor consumo de proteína, ácidos grasos Ω_3 y minerales; incorporación de N atmosférico al complejo suelo-planta-animal; y, mayor eficiencia de uso del N por el bovino. La mimosina y una concentración mayor al 5% de taninos condensados pueden generar trastornos digestivos en el bovino, por lo que se debe ejercer control en el nivel de consumo del follaje y desarrollar genotipos de Leucaena con niveles bajos de estos compuestos. Los sistemas silvopastoriles son una opción para incorporar Leucaena a la dieta de bovinos pastoreando, el arreglo silvopastoril de pastura en callejones ha mostrado una mayor producción animal que los arreglos de árboles dispersos y banco forrajero. La oferta de forraje para el bovino puede incrementarse hasta en 8.7 t de MS ha⁻¹ año⁻¹ al incorporar Leucaena en un sistema silvopastoril en arreglo de pastura en callejones, este forraje adicional puede tener de 22 a 25% y de 55 a 61%, de proteína cruda y digestibilidad *in vitro* de la materia seca, respectivamente. La incorporación planificada de Leucaena en áreas de pastoreo ha demostrado mantener niveles de 9.1 a 9.8 kg de leche vaca⁻¹ día⁻¹ o 11957 a 14403 kg de leche ha⁻¹ año⁻¹; y, de 693 a 851 g de ganancia de peso animal⁻¹ día⁻¹ o 788 a 1337 kg de ganancia de peso ha⁻¹ año⁻¹. La incorporación planificada de Leucaena mejora la productividad de empresas ganaderas de bovinos asentadas en ambiente tropical con un menor impacto ambiental en comparación con empresas basadas en el aprovechamiento de praderas de gramíneas tropicales; sin embargo, existen oportunidades de investigación para superar limitantes agronómicas y nutricionales de la Leucaena.

Palabras clave: Fabaceae; silvopastoril; leñosas forrajeras.

SUMMARY

Leucaena leucocephala (Lam.) de Wit (Leucaena) is a woody fodder legume with extensive use as livestock feed in the tropics because of its adaptation and productivity in tropical environments. This review discusses benefits of Leucaena as feed for bovines in relation to tropical grasses, among these benefits are: lower methane (CH₄) emission; higher intake of protein, Ω_3 fatty acids and minerals; incorporation of atmospheric nitrogen (N₂) to the soil-plant-animal chain; and, higher N efficiency by the bovine. Mimosine and concentration of condensed tannins above 5% might cause digestive disorders in bovines, then Leucaena intake has to be controlled and use of Leucaena populations with lower mimosine and condensed tannins concentrations. Silvopastoral systems are an option to have Leucaena available for grazing cattle, row tree planting has shown higher animal production than scattered trees and cluster.

[†] Submitted October 11, 2018 – Accepted April 30, 2019. This work is licensed under a CC-BY 4.0 International License.
ISSN: 1870-0462

Silvopastoral system with *Leucaena* can increase total available forage by 8.7 t of DM ha⁻¹ yr⁻¹, this additional forage can have 22 to 25% and 55 to 61% crude protein and *in vitro* dry matter digestibility, respectively. Planned incorporation of *Leucaena* to the grazing areas has shown to yield 9.1 to 9.8 kg of milk cow⁻¹ day⁻¹ or 11957 to 14403 kg milk ha⁻¹ yr⁻¹; and, 693 to 851 g of live-weight gain animal⁻¹ day⁻¹ or 788 to 1337 kg of live-weight ha⁻¹ yr⁻¹. *Leucaena* inclusion on grazing areas improves livestock productivity in tropical areas with lower environmental impact than tropical grasses alone; however, more research is needed to overcome some *Leucaena* agronomic and nutritional limitations.

Keywords: Fabaceae; silvopastoral; fodder shrub.

INTRODUCCIÓN

La ganadería tropical sostenible con bovinos es el reto de producir de forma rentable satisfactorios pecuarios en un ambiente de conservación de los recursos naturales y coexistencia con organismos diversos para lograr ecosistemas saludables (Clavero, 2011; Broom *et al.*, 2013; Cortez *et al.*, 2016; Murgueitio *et al.*, 2016). Debido a los beneficios que ésta ganadería ofrece al ecosistema, incluido el aprovechamiento de recursos forrajeros autóctonos e introducidos, se le ha señalado como una alternativa a los sistemas convencionales de producción tropical con bovinos con uso exclusivo de praderas de gramíneas tropicales C₄, que liberan al ambiente grandes cantidades de gases de efecto invernadero (GEI), en específico CH₄ originado en la fermentación ruminal de la fibra digestible (Bunglavan, 2014; Molina *et al.*, 2016; Morales-Velasco *et al.*, 2016) además de que estas gramíneas son muy exigentes en nitrógeno externo para mantener sus niveles de producción de forraje (Clavero, 2011; Osechas *et al.*, 2008).

Los sistemas silvopastoriles (SSP) son arreglos planificados de áreas forrajeras con leñosas, herbáceas y herbívoros domésticos; las leñosas son arbustos y árboles forrajeros y no forrajeros, las herbáceas son de diferentes familias botánicas destacando gramíneas y leguminosas; son una alternativa a las praderas de gramíneas tropicales para lograr una ganadería tropical sostenible con bovinos, debido a que su diseño responde a principios agro-ecológicos como: dosel vegetal estratificado para la máxima conversión de energía solar a biomasa vegetal, captura e introducción del N₂ atmosférico al conjunto suelo-planta-animal, menor erosión hídrica y máxima retención y uso del agua en suelo, mejoramiento de las condiciones físicas y biológicas del suelo, reciclaje de nutrimentos, mayor biodiversidad al proveer hábitat a organismos diversos (Murgueitio *et al.*, 2015b); menor uso de insumos externos a la empresa ganadera para la alimentación y bienestar del ganado y producción de forraje (González, 2013; Ávila y Revollo, 2014; Soca *et al.*, 2007; López-Vigoa *et al.*, 2017); y, contrarrestar el impacto ambiental negativo que genera la emisión de CH₄ y N₂O por la ganadería (Shelton y Dalzell, 2007; Barahona *et al.*, 2014; Molina *et al.*, 2013; 2016).

Centroamérica aporta 1.12% de la superficie mundial con SSP de diferente conformación que implica una superficie de 9.2 millones de ha (Kumar *et al.*, 2014), en México organizaciones interesadas se han fijado la meta de establecer SSP en no menos de 12 mil ha en quince estados (Murgueitio *et al.*, 2015b). Estas estadísticas permiten señalar la importancia en el avance e interés por los SSP como una opción hacia una ganadería tropical sostenible.

Para diseñar un SSP tropical es amplia la información científica sobre gramíneas y leguminosas herbáceas tropicales; sin embargo, en comparación, es escasa y dispersa la información sobre los atributos ambientales, agronómicos y forrajeros de especies leñosas que se puedan incorporar en algún arreglo de un SSP. En la revisión presente se reúne y analiza información sobre *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit una de las especies leñosas que ha mostrado entre otros atributos una gran versatilidad para adaptarse a diferentes condiciones de trópico, alta incorporación de N₂ atmosférico al conjunto suelo-planta-animal y proveer de forraje abundante y de calidad al bovino.

El objetivo de la revisión es el análisis de la información científica sobre los atributos agronómicos, ambientales y forrajeros de la *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit para generar un banco de información que sirva de base para justificar la incorporación de esta planta en SSP tropicales encaminados a lograr la sostenibilidad ambiental y económica de empresas ganaderas con bovinos asentadas en ambientes tropicales.

INCORPORACIÓN DE LEÑOSAS EN ÁREAS FORRAJERAS TROPICALES

A partir de resultados de investigaciones en que se identificó y evaluó la ingesta de bovinos y otras especies domésticas y silvestres pastoreando en diferentes tipos de vegetación, se concluyó que el follaje de diferentes leñosas (árboles y arbustos) era usado como forraje y en varios casos la calidad de lo ingerido era igual o superior al forraje consumido a partir de gramíneas tropicales por lo que convendría integrar estas leñosas a las áreas forrajeras con el propósito de proveer de forraje complementario en cantidad y calidad además, de ejercer otras funciones ambientales como la de dar protección a los animales en pastoreo (Murgueitio *et al.*, 2011).

Entre las leñosas con potencial forrajero han destacado como grupo las leguminosas debido a su distribución cosmopolita, de media a alta concentración de proteína cruda y de materia seca digestible en follaje, rendimiento de forraje de medio a alto en comparación a otros grupos taxonómicos, promueven mayor producción del animal que consume el follaje y una tasa alta de rebrote (Aguirre, 2013). Las leñosas leguminosas son una vía de entrada al ecosistema del N₂ atmosférico en una forma aprovechable tanto para la leguminosa como para otros componentes vegetales del SSP y del animal que consume el follaje de estas especies (Ørskov, 2005; Sierra y Nygren, 2006; Sánchez *et al.*, 2010), además este aporte de nitrógeno al sistema promueve la recuperación y enriquecimiento de suelos degradados por sobre uso agrícola o ganadero (Ibrahim *et al.*, 2007; Sánchez *et al.*, 2010).

En algunos sitios las leñosas leguminosas forrajeras son un recurso autóctono por lo que su propagación es una forma de restaurar paisajes originales y la biodiversidad original del ecosistema (Palma, 2006; García *et al.*, 2008b; Cortez *et al.*, 2016). En condiciones tanto naturales como inducidas por la intervención humana, los bovinos procuran consumir follaje de leñosas leguminosas que estén a su alcance, esta apetencia por el follaje también implica el consumo de un forraje de mayor calidad al que podrían obtener a partir de gramíneas tropicales (Toral e Iglesias, 2008; Pinto *et al.*, 2014).

La selección y consumo del follaje de algunas leñosas leguminosas forrajeras por bovinos en preferencia al follaje de otras leñosas forrajeras ha servido como guía para la identificación y seguimiento de leñosas leguminosas forrajeras con mayor potencial de mejorar la producción animal a partir de SSP (Toral e Iglesias, 2008; García *et al.*, 2008b; Aguirre, 2013). Varias son las especies leñosas leguminosas forrajeras evaluadas agrónomicamente como en términos de producción animal, con amplia variabilidad en las respuestas a los manejos específicos aplicados. Entre las especies pueden mencionarse: *Acacia angustissima*, *A. cochliacanta*, *A. pennatula*, *Albizia lebbbeck*, *Bauhinia purpurea*, *Caesalpinia cacalaco*, *Cajanus cajan*, *Calliandra calothyrsus*, *C. houstoniana*, *Chloroleucon mangense*, *Cratylia argentea*, *Diphysa carthagenensis*, *Erythrina berteroana*, *E. americana*, *E. mexicana*, *E. poeppigiana*, *E. tinifolia*, *Gliricidia sepium*, *Leucaena brachycarpa*, *L. esculenta*, *L. leucocephala*, *L. lanceolata*, *L. macrophylla*, *Lysiloma acapulcense*, *L. auritum*, *L. divaricatum*, *Mimosa nigra*, *Pithecellobium pedicellare*, *Samanea saman* y *Senna atomaria* (Palma, 2006; Ibrahim *et al.*, 2007; Jiménez-Ferrer *et al.*, 2007, 2008b; Ramírez *et al.*, 2007; Toral e Iglesias, 2008; García *et al.*, 2008b; Bautista-Tolentino *et al.*, 2011; Cortez *et al.*, 2016).

Leucaena leucocephala (Lam.) de Wit. referida con diferentes nombres comunes uno de ellos el de Leucaena, que será usado a lo largo del texto de este artículo, ha destacado entre las leñosas leguminosas forrajeras y leñosas de otras familias y especies, por sus mayores atributos agronómicos y de fomento a la producción animal (Shelton, 2001) algunos de estos atributos son mayor rendimiento de biomasa aérea, concentración de nutrimentos en hojas, flexibilidad de las ramas, cantidad de N₂ atmosférico incorporado al sistema suelo-planta-animal, tolerancia a la sequía, rebrote vigoroso, aceptación por los bovinos, persistencia en campo y accesibilidad para el ramoneo (Toral e Iglesias, 2008; Bacab *et al.*, 2013; Murgueitio *et al.*, 2015a; 2016). Las bondades agronómicas y de producción animal de la Leucaena la hacen una de las especies de amplio uso para la conformación de SSP y a la par ha tenido una historia desde 1960 de desarrollo de variedades para superar condiciones ambientales específicas (ataque de insectos, tolerancia a bajas temperaturas, etc.) como ejemplo las variedades siguientes: Cunningham, K8, K28, K67, K636, y los híbridos KX2 y KX3; para mejorar el rendimiento y la tolerancia a insectos y al frío (Brewbaker, 1995).

ACUMULACIÓN DE FOLLAJE EN LEUCAENA

Uno de los atributos agronómicos para calificar la conveniencia forrajera de uso de alguna especie vegetal es la cantidad de forraje que dicha especie es capaz de producir, por lo que es uno de los indicadores que se ha estudiado en Leucaena distinguiendo factores que influyen sobre esta capacidad. En la América tropical se ha demostrado que la cantidad de follaje (forraje conformado por hojas más tallos de diámetro no mayor a 5 mm) producido por Leucaena depende de la densidad de plantación entre las 3 y 80 mil plantas ha⁻¹ (Figura 1A) y la edad del rebrote en plantas ya establecidas (Figura 1B). La cantidad de follaje incrementa de forma logarítmica al aumentar la densidad de población hasta las 60 mil plantas ha⁻¹, por arriba de esta densidad la cantidad de follaje muestra pequeñas mejoras; la relación con edad del rebrote es de tipo cuadrática con un máximo a los 74 días de rebrote en que alcanza una cantidad de follaje acumulada de 6.8 t MS ha⁻¹. Los rendimientos de follaje de Leucaena pueden mantener las relaciones ya descritas, sin embargo, la magnitud exacta puede variar en respuesta a otros factores como la edad de la planta, tamaño de copa, diámetro del fuste y otras medidas dasométricas (Aleixo *et al.*, 2008; Nívar-Cháidez *et al.*, 2013).

La altura de corte con respecto del nivel del suelo tiene poco efecto sobre la supervivencia de las plantas establecidas de Leucaena, mientras que esta altura esté entre los 20 a 60 cm del nivel suelo (Bacab *et al.*, 2012);

sin embargo, la altura de corte influye bajo una relación cuadrática sobre la cantidad de follaje cosechada en cada momento y a través de cosechas sucesivas (Figura 2). Cortar por arriba de 66 cm del suelo reduce la cantidad total de follaje cosechado, por permitir una alta proporción de tallos maduros. La altura de corte está estrechamente relacionada con la frecuencia de corte, ya que la *Leucaena* logra una cantidad de follaje cosechable a partir de los 45 días de rebrote. Los rendimientos de follaje pueden mantenerse entre 6 a 8 t MS ha⁻¹ corte⁻¹ cuando la altura de corte se mantiene entre 50 a 70 cm de altura (López-Vigoa *et al.*, 2017).

La frecuencia de cosecha de follaje para lograr altos rendimientos y persistencia de plantas puede variar con respecto de la estrategia de cosecha aplicada, por ejemplo, en cosecha directa por ramoneo del animal, si la presencia del ganado en el área donde están las plantas se controla para que no sea mayor a cuatro días consecutivos, la *Leucaena* puede soportar una frecuencia de cosecha de 30 a 40 días (Osechas *et al.*, 2008); sin embargo, con cosecha por corte total de la planta, la frecuencia de cosecha es de 180 días o mayor para mantener el rendimiento por corte y supervivencia de las plantas (Casanova-Lugo *et al.*, 2010).

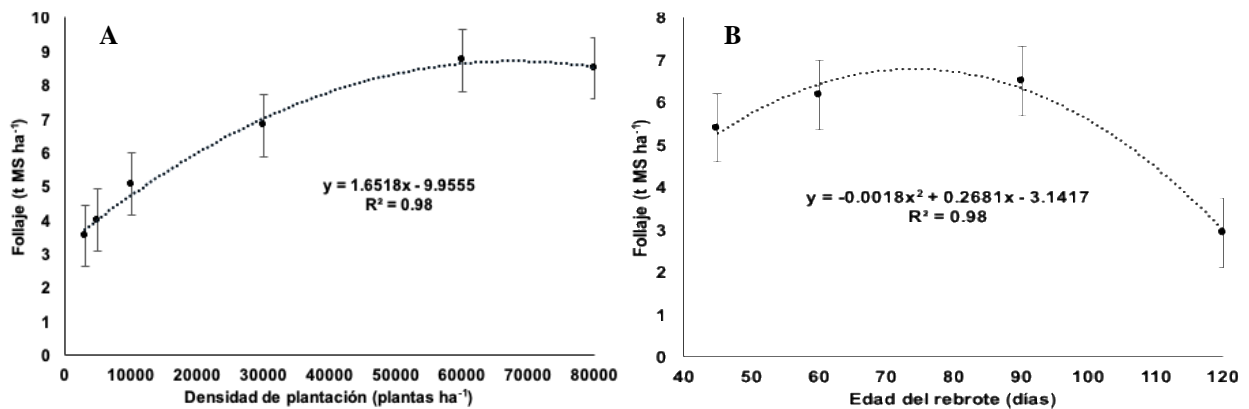


Figura 1. Follaje (hojas más tallos de diámetro no mayor a 5 mm) de *Leucaena* a diferente densidad de población (A) y edad del rebrote de plantas establecidas (B). Regresiones a partir de datos publicados por: Lamela *et al.* (2009), Ortega *et al.* (2009), Rivas *et al.* (2009), Sánchez *et al.* (2008, 2010), Benítez-Bahena *et al.* (2010), Casanova-Lugo *et al.* (2010, 2014), Petit *et al.* (2010), Bacab-Pérez y Solorio-Sánchez (2011), Bacab *et al.* (2012), Naranjo *et al.* (2012), Anguiano *et al.* (2013), Valarezo y Ochoa (2014), López *et al.* (2015), Reyes *et al.* (2015) y Román-Miranda *et al.* (2016).

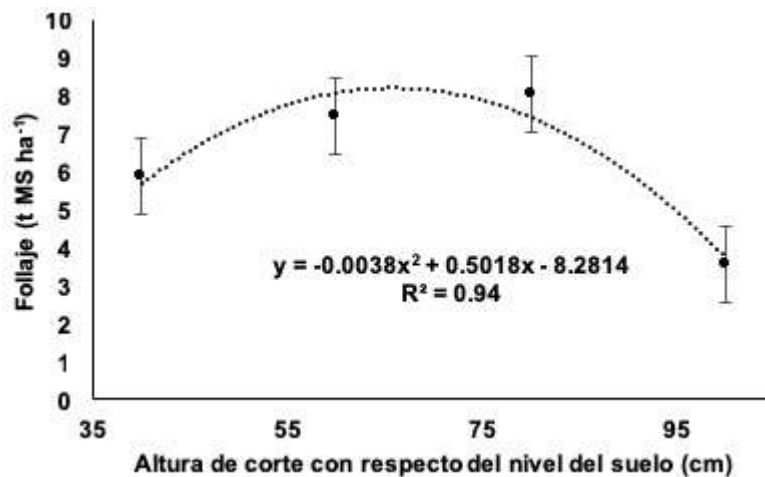


Figura 2. Follaje (hojas más tallos de diámetro no mayor a 5 mm) de *Leucaena* a diferente altura de corte en plantas establecidas. Regresión a partir de datos publicados por: Lamela *et al.* (2009), Rivas *et al.* (2009), Sánchez *et al.* (2008), Casanova-Lugo *et al.* (2010, 2014), Petit *et al.* (2010), Bacab-Pérez y Solorio-Sánchez (2011), Bacab *et al.* (2012) y Román-Miranda *et al.* (2016).

LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL FOLLAJE DE *L. leucocephala*

APORTE NUTRIMENTAL

El arreglo de las plantas de *Leucaena* dentro del área forrajera determina la concentración nutrimental del follaje producido. El arreglo en callejón (PC) mostró follaje con mayores contenidos de proteína (PB) y energía (EB) brutas y menores de alcaloides (ALC), lignina (LIG) y fibras detergentes ácido (FDA) y neutro (FDN) que los arreglos de árboles dispersos en los potreros (ADP) y banco forrajero (BF) (Cuadro 1). El arreglo en PC permite que los bovinos cosechen homogéneamente las plantas de *Leucaena* y con ello el rebrote también lo será, en los arreglos ADP y BF la cosecha y por tanto el rebrote son heterogéneos ocasionando que la calidad del follaje sea variable, en un mismo momento habrá hojas con madurez avanzada y otras muy jóvenes. La cosecha homogénea de las *Leucaenas* en PC se explica por el espaciamiento constante entre y dentro de hileras de *Leucaena*, al mismo tiempo que da espacio para que el bovino pueda cosechar fácilmente el follaje.

En el arreglo PC además de la mayor calidad del follaje de *Leucaena*, la gramínea acompañante puede incrementar hasta en 7 y 36% los contenidos de proteína y grasa brutas, respectivamente, con respecto de los otros arreglos y de la pradera monófitas de gramíneas (Cuadro 1). La mejoría en la gramínea podría originarse, entre otros factores, a una distribución más homogénea sobre todo el terreno del nitrógeno capturado por la *Leucaena* y de condiciones microclimáticas como menores radiación solar directa y velocidad del viento que podría implicar hojas con menor carga de elementos estructurales (Ørskov, 2005; Sierra y Nygren, 2006; Sánchez *et al.*, 2010).

La *Leucaena* en PC registra hasta 2.7 más PB que gramíneas tropicales (Cuadro 1), por tanto, el bovino puede consumir una dieta hasta con tres veces más proteína al pastorear en praderas con *Leucaena* en comparación a praderas monófitas de gramíneas tropicales. El consumo de *Leucaena* puede asegurar que el bovino en pastoreo ingiera una dieta con al menos 7% de PB, concentración mínima necesaria para el funcionamiento ruminal (Minson, 1990; Piñeiro-Vázquez *et al.*, 2017; Sierra *et al.*, 2017). Los bovinos pastoreando en SSP con *Leucaena* tuvieron acceso a un forraje con mayor PB que pastoreando praderas monófitas de diferentes especies de gramíneas tropicales (Gómez *et al.*, 2006; Chakeredza *et al.*, 2007; García *et al.*, 2008a; Martínez *et al.*, 2016).

El follaje de *Leucaena* en SSP muestra menores FDN y FDA que las gramíneas tropicales (Cuadro 1) por lo que el bovino pastoreando un SSP con *Leucaena*

consumirá menor cantidad de carbohidratos estructurales pero suficiente fibra para mantener la funcionalidad del rumen; los contenidos de FDN y FDA en *Leucaena* han sido de 21 a 55% y de 30 a 50% menores, respectivamente, que en gramíneas tropicales (Gómez *et al.*, 2006; Petit *et al.*, 2011; Sierra *et al.*, 2017); la dieta de bovinos con ramoneo de *Leucaena* mostró menor fibra que la de bovinos pastoreando gramíneas tropicales (Rossi *et al.*, 2008). Para condiciones tropicales diferentes los animales con posibilidad de ramonear lograron dietas menores en fibra que aquellos pastoreando únicamente gramíneas (López-Vigoa *et al.*, 2017). Piñeiro-Vázquez *et al.* (2017) encontraron que con follaje de *Leucaena* de edad avanzada la lignina fue muy alta y la dieta consumida era similar en fibra que la obtenida de gramíneas tropicales como *Cenchrus purpureum*; sin embargo, la digestibilidad y el consumo voluntario fueron mayores en la dieta con *Leucaena* (Tarazona *et al.*, 2013; Piñeiro-Vázquez *et al.*, 2017; Sierra *et al.*, 2017).

Además del contenido de PB al evaluar la calidad de un forraje, se debe determinar la proporción de la PB que es o no degradada en rumen, la proteína de sobrepaso es la proporción no degradada en rumen y es importante porque promueve una absorción más eficiente de aminoácidos (AA) en intestino delgado (Church *et al.*, 2002) sobre todo si es de mayor valor biológico que la proteína microbiana (Galindo *et al.*, 2009). Soltan *et al.* (2012) encontraron que *Leucaena* registró 4.2 veces menos y 1.3 veces más PB degradable en rumen (PBDR) y no degradable en rumen (PBNDR) respectivamente que la gramínea tropical Tifton-85 (*Cynodon spp.*), señalando que el impacto positivo de incorporar *Leucaena* en la dieta del bovino no solo depende del contenido total de PB sino también del aporte de proteína de sobrepaso.

La proporción relativamente alta de PBNDR en *Leucaena* se ha explicado por la presencia en las hojas de taninos que son compuestos orgánicos polifenólicos de peso molecular y complejidad variables capaces de ligarse a las proteínas, evitando que sean desdobladas por las exoenzimas bacterianas del rumen (González *et al.*, 2006a; Galindo *et al.*, 2009; Goel y Makkar, 2012; Saminathan *et al.*, 2014). Los taninos se clasifican en: hidrolizables o precipitantes (TH) y condensados (TC), concentraciones de TC en dieta de 5% o mayores pueden provocar efectos adversos en la producción y estado de salud del animal que los ingiere al inhibir las actividades de algunas enzimas y funciones del epitelio intestinal (Otero e Hidalgo, 2004; González *et al.*, 2006a; Goel y Makkar, 2012; Barros-Rodríguez *et al.*, 2014) y por reducir la disponibilidad en rumen de nitrógeno amoniacal necesario en la síntesis de proteína microbiana (Clavero, 2011).

Cuadro 1. Concentraciones ($\bar{x}\pm s$) de componentes nutrimentales (%) presentes en follaje (hojas más tallos de diámetro no mayor a 5 mm) de *Leucaena leucocephala* y forraje de gramíneas tropicales utilizadas en la alimentación de bovinos en sistemas silvopastoriles. El número entre paréntesis indica la cantidad de registros reportados en la literatura.

| Sistema ¹ | Componente nutrimental ² | | | | | | | | | | | | | | | | Contribución por país (%) | Fuente |
|-------------------------|-------------------------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|-------------------|-------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|-------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|--|--------|
| | MS | MO | CEN | PB | GB | FDN | FDA | ELN | TH | TC | M | ALC | LIG | CEL | HEM | EB | | |
| Leucaena en SSP | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ADP | 28.4±9.1 (2) | 91.5±3.3 (10) | 8.5±3.3 (10) | 22.3±4.3 (13) | 5.4±4.3 (3) | 42.9±14.7 (13) | 26.5±11.2 (11) | 32.0 (1) | | 4.8±4.0 (7) | | 0.65 (1) | 13.8±8.3 (5) | 23.9 (1) | 19.1±6.4 (2) | 4.2 (1) | México (66), Colombia (13), Nicaragua (7), Brasil (7) y Egipto (7) | * |
| BF | 24.2±2.0 (9) | 92.0±1.7 (14) | 8.0±1.7 (14) | 24.6±3.8 (22) | 2.3±1.4 (2) | 44.1±9.8 (16) | 27.2±9.1 (15) | 36.3±0.1 (2) | 2.4±1.1 (6) | 3.3±1.2 (9) | 2.1±1.2 (8) | 0.29 (1) | 10.9±2.9 (11) | 11.1±1.1 (6) | 23.2±0.0 (2) | 4.3±0.3 (3) | Cuba (35), México (17), Venezuela (17), Brasil (9), Malasia (9), Australia (4), Ecuador (4) y EEUU (4) | † |
| PC | 28.2±5.1 (10) | 91.3±2.1 (13) | 8.4±1.3 (13) | 24.9±2.4 (22) | 2.9±1.4 (11) | 36.0±7.6 (15) | 24.5±6.9 (16) | | 1.9 (1) | | 5.4 (1) | 0.09 (1) | 9.1±3.8 (5) | 11.0±5.8 (3) | 21.4±6.5 (4) | 4.6±0.1 (7) | Colombia (45), México (23), Cuba (14), Venezuela (14) y Costa Rica (4) | ‡ |
| Gramíneas en SSP | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ADP | 21.1±1.7 (2) | 90.2±0.4 (3) | 9.8±0.4 (3) | 8.8±1.2 (3) | 1.2±0.0 (2) | 66.4±3.0 (3) | 35.8±0.8 (3) | 11.9±0.1 (2) | | | | | 5.1±1.3 (3) | | | 3.7±0.1 (2) | Colombia (50) y EEUU (50) | π |
| PC | 28.2±5.6 (10) | 88.1±2.5 (14) | 11.7±2.2 (14) | 9.6±1.7 (23) | 1.5±0.6 (13) | 70.0±4.6 (16) | 41.5±6.5 (17) | | | | | | 5.8±0.4 (5) | 29.1±0.7 (3) | 30.5±4.8 (4) | 4.1±0.1 (10) | Colombia (55), México (25), Cuba (15), Venezuela (10) y Costa Rica (5) | ‡ |
| Convencional | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GM | 22.7±9.6 (5) | 90.5±2.2 (3) | 9.8±1.5 (3) | 9.0±1.9 (29) | 1.1±0.3 (3) | 69.7±3.5 (24) | 40.3±5.7 (24) | | | | | | 7.2±0.9 (16) | 30.2 (1) | 31.1 (1) | 4.0±0.1 (2) | México (38), Colombia (25), Venezuela (13), Australia (6), Brasil (6), Costa Rica (6) y Cuba (6) | □ |

¹SSP=Sistemas silvopastoriles, ADP=Árboles dispersos en potreros, BF=Banco forrajero, PC=Pastura en callejones y GM=Gramínea en monocultivo

²MS=Materia seca, MO=Materia orgánica, CEN=Cenizas, PB=Proteína bruta, GB=Grasa bruta, FDN=Fibra detergente neutro, FDA=Fibra detergente ácido, ELN=Extracto libre de nitrógeno, TH=Taninos hidrolizables, TC=Taninos condensados, M=Mimosina, ALC=Alcanos o alcaloides, LIG=Lignina, CEL=Celulosa, HEM=Hemicelulosa y EB=Energía bruta

*Ayala-Burgos et al. (2006), Gómez et al. (2006), González et al. (2006a), Bobadilla-Hernández et al. (2007), Ramírez et al. (2007), Jiménez-Ferrer et al. (2008a), Zapata et al. (2009), Vivas et al. (2011), Soltan et al. (2012, 2013), Pérez et al. (2013), Tarazona et al. (2013), Cortez et al. (2016) y Naranjo et al. (2016)

[†]Kanani et al. (2006), Vergara et al. (2006), Razz y Clavero (2007), García et al. (2008a,b,c,d; 2009), Galindo et al. (2008), Sánchez y Faria (2008), Petit et al. (2011), Verdecia et al. (2012; 2014), Tinoco-Magaña et al. (2012), Casanova-Lugo et al. (2014), Valarezo y Ochoa (2014), Zaky et al. (2014), Harrison et al. (2015), Ilham et al. (2015), Reyes et al. (2015), Piñeiro-Vázquez et al. (2016) y Soltan et al. (2016)

[‡]Faría y Sánchez (2007), Jiménez (2007), Sánchez et al. (2007; 2010), Bugarín et al. (2009), Lamela et al. (2009), Benítez-Bahena et al. (2010), Cuartas et al. (2013; 2015), Molina et al. (2013; 2015; 2016), Sánchez y Faria (2013), Barahona et al. (2014), Peniche-González et al. (2014), Gaviria et al. (2015), Gaviria-Urbe et al. (2015), López et al. (2015), Martínez et al. (2016), Santiago et al. (2016) y Sierra et al. (2017)

^πKanani et al. (2006) y Tarazona et al. (2013)

[‡]Faría y Sánchez (2007), Jiménez (2007), Bugarín et al. (2009), Lamela et al. (2009), Benítez-Bahena et al. (2010), Sánchez et al. (2010), Cuartas et al. (2013; 2015), Molina et al. (2013; 2015; 2016), Sánchez y Faria (2013), Barahona et al. (2014), Peniche-González et al. (2014), Gaviria et al. (2015), Gaviria-Urbe et al. (2015), López et al. (2015), Martínez et al. (2016), Santiago et al. (2016) y Sierra et al. (2017)

[□]Vergara et al. (2006), Jiménez (2007), Razz y Clavero (2007), Jarillo-Rodríguez et al. (2011), Ortega-Gómez et al. (2011), Paciuillo et al. (2011), Tinoco-Magaña et al. (2012), Cuartas et al. (2013; 2015), Molina et al. (2013), Muñoz-González et al. (2016), Harrison et al. (2015), Reyes et al. (2015), Naranjo et al. (2016) y Piñeiro-Vázquez et al. (2016)

Dietas con no más de 2.0% de TC promueven en bovinos una mayor o más eficiente producción de leche (PL) o ganancia de peso debido a un incremento en el aporte de PBNDR al intestino lo que aumenta la tasa de absorción de AA esenciales (Otero e Hidalgo, 2004; Clavero, 2011), reducción en la incidencia de timpanismos subclínicos y clínicos (Min *et al.*, 2006; Barros-Rodríguez *et al.*, 2014; Piñeiro-Vázquez *et al.*, 2017) y aumento de la eficiencia del reciclaje de urea en rumen por menores concentraciones de amonio ruminal y ácidos grasos volátiles (Otero e Hidalgo, 2004).

Bobadilla-Hernández *et al.* (2007) señalaron que la mayor PL en vacas consumiendo follaje de *Leucaena* respondió entre otros factores a las concentraciones de 4% o menores de TC en el follaje, en vaquillas estos niveles de TC no afectaron negativamente el metabolismo del N (Piñeiro-Vázquez *et al.*, 2016) por lo que se descartó que los TC a un nivel no mayor al 4% en el follaje de *Leucaena* pudiese perturbar la actividad reproductiva de la vaca. Esta mejoría en PL se atribuye a que los TC forman complejos con la proteína y los carbohidratos que provoca incremento en el tiempo de retención de las fracciones de fibra (Silanikove *et al.*, 1996; Huang *et al.*, 2011; Saminathan *et al.*, 2014), con ello mayor producción de acetato (Bodas *et al.*, 2008) destinado a la formación de leche. En tanto, la actividad reproductiva fue observada a través de una reducción en la tasa de gestación asociada con la ingesta de AA no proteínicos de la mimosina y el efecto tóxico de sus metabolitos 3,4-DHP y 2,3-DHP, cuando las vacas consumieron más del 30% de *Leucaena* en la dieta en base seca (Jones *et al.*, 1989). Esta reducción de la fertilidad se asoció con la producción en exceso de NH_3^+ durante la fase luteal del ciclo estral derivado del metabolismo de los AA, lo que genera una reducción del pH uterino, baja concentración de progesterona e incremento de la secreción de $\text{PGF}_2\alpha$, complicando los primeros estadios del desarrollo embrionario (Butler, 1998). Sánchez *et al.* (2007; 2008) y Sánchez y Faria (2008; 2013) mencionan que la concentración de TC en el follaje de *Leucaena* dependen del estado de desarrollo de la planta y de las condiciones ambientales; Clavero (2011) encontró mayor concentración de TC en hojas recién formadas que en las totalmente expandidas, situación que podría explicar la preferencia de bovinos por consumir estas hojas que las recién formadas.

Las hojas de *Leucaena* muestran niveles de entre 9.1 a 11.3% de lignina (Hove *et al.*, 2003; Talukder, 2006) y a su vez estas concentraciones relativamente altas se han asociado en bovinos a una menor liberación de CH_4 ruminal por kg de forraje consumido ya que la lignina no es fermentable en el rumen, mientras que la fibra rica en celulosa y hemicelulosa si puede ser fermentada y a partir de esta fermentación se libera

CH_4 (Talukder, 2006). Además de la concentración alta de lignina y baja en celulosa la presencia de flavonoides hasta en 6.2% en hoja se ha asociado a menor liberación de CH_4 ruminal y estimulación de la fermentación ruminal (Verdecia *et al.*, 2012) a la par de mayor liberación de acetato y propionato que son ácidos grasos volátiles (AGV) que usa el rumiante como fuente de energía (Bodas *et al.*, 2008).

Además de compuestos orgánicos con efectos positivos sobre el comportamiento animal, el follaje y semilla de *Leucaena* registran la presencia de Mimosina, compuesto con potencial tóxico que ocasiona en bovinos desde trastornos leves de la salud y hasta la muerte de estos. La Mimosina es un AA libre alcaloide estructuralmente análogo a la tirosina (Harith *et al.*, 1987; Halliday *et al.*, 2013; Barros-Rodríguez *et al.* 2014). El nombre de la Mimosina es: β -[N-3-hidroxi-4-oxopiridil]- α -amino ácido propiónico (Harith *et al.*, 1987) que al ser fermentado en rumen origina dos compuestos que son los responsables de la toxicidad, éstos son: 2,3-dihidroxipiridina o 2-hidroxi-3 [1H]-piridona (2,3-DHP) y 3,4-dihidroxipiridina o 3-hidroxi-4 [1H]-piridona (3,4-DHP) (Ruz-Ruiz *et al.*, 2013; Ilham *et al.*, 2015; Sierra-Montoya *et al.*, 2017). Ambas formas de DHP tienen una actividad goitrogénica lo que reduce la disponibilidad de yodo y provoca bajos niveles de las hormonas tiroideas: tiroxina (T_4) y triyodotironina (T_3) alterando negativamente el metabolismo, consumo y crecimiento de los animales, el impacto sobre el metabolismo promueve la manifestación de los signos clínicos de toxicidad por Mimosina (Halliday *et al.*, 2013; Barros-Rodríguez *et al.*, 2014). El quelatado de iones metálicos como Zn, Cu y Fe en compuestos complejos se ha señalado como una de las rutas del efecto tóxico de los DHP derivados de la fermentación ruminal de la Mimosina (Ghosh y Samiran, 2007).

Para evitar el impacto negativo en bovinos de la Mimosina además de controlar el consumo de *Leucaena* y promover una población bacteriana en rumen que degrade ambos DHP's, se ha sugerido la selección y desarrollo de variedades de *Leucaena* con un menor contenido de Mimosina (García *et al.*, 2008c; Razz, 2013) este acercamiento al problema se justifica por los intervalos en concentración encontrados en plantas de *Leucaena* de diferente procedencia, entre estos intervalos están: 2.3 a 6.9% (García *et al.*, 2008a; 2009); 0.5 a 4.0% (Ilham *et al.*, 2015); y, 2.1 a 5.4% (Cuadro 1).

La superioridad de la *Leucaena* sobre gramíneas tropicales en la concentración de algunos minerales es otra ventaja de la incorporación de esta especie en SSP para el pastoreo de bovinos; Ca, Mg, K, Na, Cu, Fe, Mn, Co y Mo son los minerales con mayor concentración en *Leucaena* que en gramíneas

tropicales (Cuadro 2). Las concentraciones de P y Zn en Leucaena pueden superar a las registradas en gramíneas tropicales, sin embargo, no son suficientes para asegurar un adecuado desempeño productivo de los bovinos, además el forraje puede presentar un desbalance en la razón Ca:P y un aporte de Se en exceso a lo recomendado para un desempeño óptimo (McDowell y Arthington, 2005; NRC, 2016). La Leucaena registra concentraciones de minerales necesarios en la alimentación de bovinos superiores al follaje de otras especies arbustivas (Godoy *et al.*, 2007; Clavero, 2011; Vieyra-Alberto *et al.*, 2013) por lo que la Leucaena es una de las especies leñosas preferidas para conformación de SSP en trópico.

Además de la concentración del P en el tejido vegetal consumido por bovinos debe considerarse la disponibilidad de este, ya que el P en ácido fítico es de disponibilidad baja y reduce la disponibilidad de otros minerales por la capacidad quelatizante del ácido fítico (Zhou y Erdman, 1995). García *et al.* (2008c, d; 2009) concluyeron que en Leucaena la proporción de P en ácido fítico es baja por lo que no hay riesgo en la disponibilidad del P ni de otros minerales que pudieran quelatizarse.

Las gramíneas tropicales registran una fuerte reducción en la calidad del forraje conforme la madurez es mayor, la menor calidad del forraje ofrecido es la causa principal del pobre desempeño de bovinos pastoreando únicamente gramíneas tropicales. El follaje de Leucaena mantiene su calidad en términos de las concentraciones de proteína, digestibilidad de la materia seca y de minerales a edades avanzadas, por lo que puede disminuir el impacto negativo sobre el comportamiento productivo de bovinos pastoreando gramíneas tropicales de madurez avanzada (Faría y Sánchez, 2007; Sánchez y Faria, 2008, 2013) y se le ha señalado como sustituto parcial o total de concentrados comerciales dirigidos a mitigar el impacto negativo en bovinos consumiendo forrajes de pobre calidad (Clavero, 2011). Sánchez y Faria (2013) advierten que una de las principales limitantes a la calidad del follaje de Leucaena de madurez avanzada es que la razón Ca:P puede ser de hasta 7:1, para evitar esta situación los autores recomiendan que el follaje de Leucaena no exceda una edad de 126 días.

Bovinos con acceso a follaje de Leucaena muestran una liberación menor de CH₄ por kilogramo de producto animal y una mayor digestibilidad del forraje consumido en comparación a bovinos pastoreando gramíneas tropicales, esto debido a que las hojas de Leucaena presentan mayor contenido celular y menor de pared celular en comparación a gramíneas tropicales (Shelton y Dalzell, 2007). La digestibilidad de los componentes nutrimentales en el follaje de Leucaena es de alta a muy alta en comparación con gramíneas tropicales (Cuadro 3). García *et al.* (2009)

indican que la importancia del follaje de Leucaena como fuente de forraje es que además de mayores concentraciones de nutrimentos éstos muestran una mayor digestibilidad.

Las concentraciones de compuestos nutrimentales y su mantenimiento a edades avanzadas permiten indicar que *L. leucocephala* es un componente importante en la alimentación de bovinos pastoreando SSP; el principal riesgo en el uso de Leucaena como forraje para bovinos es la toxicidad de la Mimosina y en segundo plano una relación Ca:P poco favorable a un desempeño productivo máximo.

ALIMENTACIÓN

El comportamiento productivo de los bovinos depende de los consumos voluntarios total y por nutrimento, bovinos pastoreando en SSP con Leucaena mostraron consumos totales y nutrimentales de 2.3 a 80.6% mayores a los registrados en los bovinos pastoreando gramíneas tropicales y menores de FDN y agua (Cuadro 4) por lo que podría señalarse que los SSP con Leucaena son una opción para mejorar la productividad de la ganadería bovina tropical en pastoreo, mientras que mantener como fuente única para el pastoreo de bovinos a las gramíneas tropicales limita la expansión de la productividad de la ganadería tropical.

Consumos de follaje de Leucaena entre 1.5 y 2.3 kg de MS animal⁻¹ día⁻¹ promueven la productividad de bovinos sin riesgo de efectos negativos (Mahecha *et al.*, 2007; López *et al.*, 2015); Ortega *et al.* (2009) y López-Vigoa *et al.* (2017) señalan que en SSP con Leucaena el consumo de esta especie puede ser de hasta 2.6 kg de MS animal⁻¹ día⁻¹ sin efectos detrimentales siempre que haya alta disponibilidad de forraje de las gramíneas asociadas, Mahecha *et al.* (2007) coinciden en señalar la importancia de abundante oferta de forraje de gramíneas para reducir el riesgo de intoxicación en bovinos por el consumo de Leucaena.

Pinto *et al.* (2014) registraron que los bovinos pastoreados en SSP con Leucaena y en praderas de gramíneas dedicaron el mismo tiempo a las siete actividades registradas y dentro del tiempo dedicado a la cosecha de forraje 25% fue dedicado al ramoneo de Leucaena. Ortega *et al.* (2009) encontraron en bovinos que la tasa de ingesta, número y tamaño de bocados dependieron de la altura de las plantas de Leucaena dentro del intervalo de 90 a 120 cm con respecto del nivel del suelo, en promedio los valores fueron: 16.3 g de follaje min⁻¹, 35.8 bocados min⁻¹ y 0.46 g bocado⁻¹, con base en estos resultados se enfatiza el manejo del dosel de Leucaena para fomentar el máximo consumo posible.

Cuadro 2. Concentraciones de macro y microelementos ($\bar{x} \pm s$) del follaje (hojas más tallos de diámetro no mayor a 5 mm) de *Leucaena leucocephala* y forraje de gramíneas tropicales utilizadas en la alimentación de bovinos en sistemas silvopastoriles. El número entre paréntesis indica la cantidad de registros reportados en la literatura.

| Sistema ¹ | Macroelementos (%) | | | | | | Microelementos (ppm) | | | | | | Contribución por país (%) | Fuente | |
|------------------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------------|----------------|---------------|---------------|------------|-------------|---------------------------|---|----|
| | Ca | P | Mg | K | Na | Ca:P | Cu | Fe | Mn | Zn | Se | Co | | | Mo |
| Leucaena en SSP | | | | | | | | | | | | | | | |
| ADP | 1.09±0.30 (2) | 0.22 (1) | | 0.51 (1) | | 5.91 (1) | 18 (1) | 267 (1) | | | 26 (1) | | | México (50) y Nicaragua (50) | * |
| BF | 1.72±0.30 (7) | 0.22±0.04 (6) | 0.31±0.06 (2) | 2.19±0.15 (5) | 0.09 (1) | 8.26±2.08 (5) | 76 (1) | | 76 (1) | 28 (1) | 2.6 (1) | 1.6 (1) | 3.3 (1) | Cuba (86) y Venezuela (14) | † |
| PC | 1.13±0.37 (13) | 0.22±0.05 (13) | 0.30±0.02 (4) | 2.14±0.06 (4) | 0.10±0.09 (4) | 5.40±2.48 (12) | 16±7 (2) | 109±45 (2) | 48 (1) | 23±1 (2) | | | | Colombia (62), Cuba (15), Venezuela (15) y México (8) | ‡ |
| Gramíneas en SSP | | | | | | | | | | | | | | | |
| PC | 0.42±0.26 (15) | 0.48±0.99 (15) | 0.12±0.04 (4) | 2.81±0.96 (4) | 0.09±0.09 (4) | 1.85±1.71 (15) | 6±4 (2) | 146±54 (2) | 28 (1) | 35±19 (2) | | | | Colombia (54), México (20), Cuba (13) y Venezuela (13) | π |
| Convencional | | | | | | | | | | | | | | | |
| GM | 0.37±0.17 (24) | 0.35±0.82 (17) | 0.13±0.13 (14) | 1.37±0.69 (21) | 0.16±0.15 (14) | 2.18±1.15 (17) | 8±5 (21) | 242±64 (21) | 59±55 (10) | 29±13 (21) | | 0.02 (1) | | Colombia (38), México (38), India (12) y Venezuela (12) | ‡ |
| Requerimiento y límites tolerables | | | | | | | | | | | | | | | |
| NM ⁽¹⁾ | 0.19 a 0.73 | 0.12 a 0.34 | 0.1 | 0.6 | 0.06 a 0.08 | 0.56 | 10 | 50 | 20 | 30 | 0.1 | 0.1 | | | |
| NOBC ⁽²⁾ | 0.53 a 0.67 | 0.32 a 0.44 | 0.2 a 0.25 | 0.7 | 0.1 | 1.6 | 10 | 50 | 40 | 30 | 0.1 | 0.1 | | | |
| NOVL ⁽³⁾ | 0.3 | 0.25 | 0.2 | 0.8 | 0.06 | 1.2 | 10 | 50 | 40 | 30 | 0.1 | 0.1 | | | |
| MT ⁽⁴⁾ | 2 | 1 | 0.4 | 3 | | 2 | 100 | 1000 | 1000 | 500 | 2 | 10 | 5 | | |

¹SSP= Sistemas silvopastoriles, ADP= Árboles dispersos en potreros, BF= Banco forrajero, PC= Pastura en callejones y GM= Gramínea en monocultivo

*Vivas *et al.* (2011) y Pérez *et al.* (2013)

†Galindo *et al.* (2008), García *et al.* (2008 a,c,d; 2009), Sánchez y Faria (2008) y Verdecia *et al.* (2014)

‡Faría y Sánchez (2007), Sánchez *et al.* (2010), Cuartas *et al.* (2013; 2015), Molina *et al.* (2013; 2015; 2016), Sánchez y Faria (2013), Gaviria *et al.* (2015), Gaviria-Urbe *et al.* (2015), López *et al.* (2015), Santiago *et al.* (2016) y Sierra-Montoya *et al.* (2017)

πFaría y Sánchez (2007), Benítez-Bahena *et al.* (2010), Sánchez *et al.* (2010), Cuartas *et al.* (2013; 2015), Molina *et al.* (2013; 2015; 2016), Sánchez y Faria (2013), Peniche-González *et al.* (2014), Gaviria *et al.* (2015), Gaviria-Urbe *et al.* (2015), López *et al.* (2015), Santiago *et al.* (2016) y Sierra-Montoya *et al.* (2017)

‡Cabrera *et al.* (2009), Depablos *et al.* (2009), Kumaresan *et al.* (2010), Vivas *et al.* (2011), Cuartas *et al.* (2013; 2015), Molina *et al.* (2013) y Muñoz-González *et al.* (2014)

⁽¹⁾ Nivel mínimo en base a los requerimientos del ganado bovino (McDowell y Arthington, 2005).

⁽²⁾ Nivel óptimo recomendado en la dieta de bovinos en crecimiento y finalización (NRC, 2016)

⁽³⁾ Nivel óptimo recomendado en la dieta de bovinos en lactación (NRC, 2016) con base a niveles críticos de concentraciones minerales en los forrajes tropicales (McDowell y Arthington, 2005)

⁽⁴⁾ Niveles máximos tolerables de minerales en la dieta de bovinos (NRC, 2016)

Cuadro 3. Digestibilidad de componentes nutrimentales ($\bar{x}\pm s$) del follaje (hojas más tallos de diámetro no mayor a 5 mm) de *Leucaena leucocephala* y forraje de gramíneas tropicales utilizados en sistemas silvopastoriles. El número entre paréntesis indica la cantidad de registros reportados en la literatura.

| Sistema ¹ | Componente nutrimental ² | | | | | | Contribución por país (%) | Contribución por especie (%) | Fuente |
|----------------------|-------------------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|------------------------------|--|--|--------|
| | MS (%) | MO (%) | PB (%) | FDN (%) | FDA (%) | PBD (g kg MS ⁻¹) | | | |
| Leucaena en SSP | | | | | | | | | |
| ADP | 54.6±10.4 (4) | 57.8±5.4 (3) | 64.6±5.7 (2) | | | 139.4±44.5 (2) | México (75) y Nicaragua (25) | | * |
| BF | 61.2±8.7 (9) | 54.6±10.1 (4) | 54.0±9.9 (6) | 42.5±5.4 (6) | 40.0±2.2 (2) | | Cuba (50), México (20), Venezuela (20) y Australia (10) | | † |
| PC | 55.6±9.4 (5) | 61.8±13.9 (4) | 69.2 (1) | 57.9 (1) | 57.4 (1) | 181.0 (1) | Colombia (37.5), Venezuela (37.5), Costa Rica (12.5) y México (12.5) | | ‡ |
| Gramíneas en SSP | | | | | | | | | |
| PC | 53.5±4.9 (9) | 41.4±0.9 (3) | 64.9 (1) | 55.9 (1) | 55.8 (1) | | Colombia (60), Venezuela (20), Costa Rica (10) y México (10) | <i>Megathyrus maximus</i> (45.4), <i>Cenchrus ciliaris</i> (18.2), <i>Cynodon plectostachyus</i> (18.2), <i>Brachiaria brizantha</i> (9.1) y <i>C. nlemfuensis</i> (9.1) | π |
| Convencional | | | | | | | | | |
| GM | 58.8±11.1 (17) | | | | | | México (82), Australia (6), Brasil (6) y Costa Rica (6) | <i>C. plectostachyus</i> (16.7), <i>B. brizantha</i> (11), <i>B. decumbens</i> (11), <i>C. purpureum</i> x <i>C. glaucum</i> (11), <i>C. purpureum</i> cv Taiwan (5.6), <i>Axonopus compressus</i> (5.6), <i>B. humidicola</i> (5.6), <i>B. brizantha</i> x <i>B. ruziziensis</i> (5.6), <i>Chloris gayana</i> (5.6), <i>M. maximus</i> (5.6), <i>M. maximus</i> cv Mombaza (5.6), <i>M. maximus</i> cv Tanzania (5.6) | ‡ |

¹SSP= Sistemas silvopastoriles, ADP= Árboles dispersos en potreros, BF= Banco forrajero, PC= Pastura en callejones y GM= Gramínea en monocultivo

²DMS= Digestibilidad de la materia seca, DMO= Digestibilidad de la materia orgánica, DPB= Digestibilidad de la proteína bruta, DFB= Digestibilidad de la fibra bruta, DFDN= Digestibilidad de la fibra detergente neutro, DFDA= Digestibilidad de la fibra detergente ácido y PBD= Proteína bruta digestible

*Ayala-Burgos et al. (2006), Bobadilla-Hernández et al. (2007), Jiménez-Ferrer et al. (2008a), Milera (2013) y Pérez et al. (2013)

†García et al. (2008a,b,c,d; 2009), Sánchez y Faria (2008), Casanova-Lugo et al. (2014), Verdecia et al. (2014), Harrison et al. (2015) y Piñeiro-Vázquez et al. (2016)

‡Faría y Sánchez (2007), Jiménez (2007), Sánchez et al. (2007), Sánchez y Faria (2013), Barahona et al. (2014), Molina et al. (2015), Naranjo et al. (2016) y Sandoval et al. (2016)

πFaría y Sánchez (2007), Jiménez (2007), Sánchez y Faria (2013), Molina et al. (2013), Barahona et al. (2014), Cuartas et al. (2015), Gaviria et al. (2015), Naranjo et al. (2016) y Sandoval et al. (2016)

‡Jiménez (2007), Jarillo-Rodríguez et al. (2011), Ortega-Gómez et al. (2011), Paciullo et al. (2011), Mijares et al. (2012) y Harrison et al. (2015)

RESPUESTA PRODUCTIVA

Los bovinos pastoreando SSP con *Leucaena* en callejones superan en PL y ganancia de peso a los que pastorean gramíneas tropicales, debido a que estos SSP, en comparación a las praderas de gramíneas, proveen a los bovinos una oferta mayor de forraje con más proteína y digestibilidad, lo que permite mayor carga animal y reduce la necesidad de incorporar insumos alimenticios externos (González, 2013; Ávila y Revollo, 2014); los SSP con *Leucaena* en relación a praderas de gramíneas tropicales pueden incrementar de 1.5 a 2 veces más la PL o ganancia de peso por animal o por unidad de superficie (Cuadros 5 y 6), Murgueitio et al. (2016) señalan mejoras de hasta 4 veces según sea la calidad y rendimiento de la gramínea tropical en comparación. Los SSP con *Leucaena* para ambientes tropicales de América Latina y el Caribe pueden sostener cargas de 2 a 5 UA ha⁻¹, este intervalo es una mejoría con respecto a praderas de gramíneas tropicales (Calle et al., 2012; González, 2013; López-Vigoa et al., 2017).

La ganancia diaria de peso (GDP) registrada en bovinos pastoreando SSP con *Leucaena* origina que el periodo de engorda sea de 29 a 149 días más corto o animales de mayor peso al final de la engorda en comparación a praderas de gramíneas tropicales, el diseño de incorporación de la *Leucaena* en el SSP influye sobre la magnitud de estas mejorías en tiempo y peso final de la engorda (Cuadro 5). Peralta et al. (2012) encontraron que con *Leucaena* en un SSP de banco de proteína con acceso de 3 h por día, los novillos mostraron una GDP mayor en 377 g novillo⁻¹ a la registrada en los novillos pastoreando una pradera de *Megathyrus maximus* (guinea). Terneros de empresas lecheras pastoreando en un SSP con *Leucaena* mostraron una GDP 65% inferior a la de terneros en confinamiento total; sin embargo, la rentabilidad fue mayor en el SSP (Mayo-Eusebio et al., 2013). Razz (2013) concluyó que proveer concentrados energético-proteínicos a novillos pastoreando SSP con *Leucaena* no mejoran la GDP debido a que los concentrados originan una marcada reducción en el consumo de forraje.

Cuadro 4. Valores de selectividad de follaje y consumo de materia seca, nutrientes y agua ($\bar{x}\pm s$) de bovinos alimentados en sistemas silvopastoriles. El número entre paréntesis indica la cantidad de registros reportados en la literatura.

| Sistema ¹ | Nutriente ² | | | | | | | | | | | Selectividad (%) ² | | Contribución por estado fisiológico (%) | Contribución por especie (%) | Contribución por país (%) | Fuente | |
|--------------------------|------------------------|-----------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|--------------------------------|-----------------|---|---|--|-----------------------------|---|
| | CMSD (kg/día) | CMSPV (%) | CMSPM (g/kg de PV ⁷⁵) | CPB (%) | CMO (%) | CFDN (%) | CFDA (%) | CEB (Mcal/kg MS) | CEM (Mcal/kg MS) | CCa (%) | CP (%) | CAPM (mL/kg PV ⁷⁵) | G | | | | | L |
| Leucaena-gramínea en SSP | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ADP | 8.02±2.1 (4) | 2.39±0.3 (4) | 111.5±13.5 (4) | 15.9 (1) | | | | | | 1.04 (1) | 0.17 (1) | | 75.8±6.2 (3) | 24.2±6.2 (3) | Torete (100) | <i>Megathyrus maximus</i> (100) | Colombia (100) | * |
| BF | 7.11 (1) | 2.36 (1) | 99.90 (1) | 10.7 (1) | 93.67 (1) | 61.88 (1) | 39.24 (1) | | | | | | 70.0 (1) | 30.0 (1) | Vaquilla (100) | <i>Cenchrus purpureum</i> (100) <i>Cynodon nlemfuensis</i> (42), <i>C. plectostachyus</i> (25), <i>M. maximus</i> (25) y <i>M. maximus</i> cv Tanzania (8) | México (100) | † |
| PC | 10.58±3.2 (9) | 2.59±0.3 (9) | 117.2±17.4 (10) | 13.3±1.8 (7) | 89.78 (1) | 58.7±8.7 (5) | | 4.42±0.1 (4) | 2.21±0.0 (4) | 0.65±0.2 (5) | 0.39±0.2 (5) | 107.4 (1) | 73.5±9.6 (9) | 26.5±9.6 (9) | Vaca (55), Torete (27) y Vaquilla (18) | | Colombia (50) y México (50) | ‡ |
| Gramíneas en SSP | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ADP | 5.48±0.4 (3) | 2.01±0.4 (3) | 80.0±14.5 (3) | 9.3 (1) | | | | | | 0.67 (1) | 0.18 (1) | | 91.4±0.1 (2) | 8.6±0.1 (2) | Torete (100) | <i>M. maximus</i> (50) y <i>M. maximus</i> cv Tanzania (50) <i>C. nlemfuensis</i> (50) y <i>M. maximus</i> (50) | Colombia (100) | π |
| PC | 6.50 (1) | 2.39 (1) | 96.50 (1) | | | | | | | | | 168.0 (1) | | | Vaquilla (100) | | Colombia (100) | ‡ |
| Convencional | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GM | 10.68±4.0 (6) | 2.97±0.8 (6) | 128.9±36.6 (6) | 8.8±1.7 (6) | 91.4±2.3 (2) | 63.9±2.8 (2) | 40.54 (1) | 4.32±0.2 (4) | 2.16±0.1 (4) | 0.36 (1) | 0.33 (1) | | 100±0 (9) | 0±0 (9) | Torete (45), Vaca (33), y Vaquilla (22) | <i>C. plectostachyus</i> (44.4), <i>C. nlemfuensis</i> (44.4) y <i>C. purpureum</i> (11.2) | México (100) | □ |

¹SSP=Arreglo silvopastoril, ADP=Árboles dispersos en potreros, BF=Banco forrajero, PC=Pastura en callejones y GM=Gramínea en monocultivo

²CMSD=Consumo de materia seca (MS) diaria, CMSPV=Consumo de MS en base al peso vivo, CMSPM=Consumo de MS en base al peso metabólico, CPB=Consumo de proteína bruta, CMO=Consumo de materia orgánica, CFDN=Consumo de fibra detergente neutro, CFDA=Consumo de fibra detergente ácido, CEB=Consumo de energía bruta, CEM=Consumo de energía metabolizable, CCa=Consumo de calcio, CP=Consumo de fósforo, CAPM=Consumo de agua en base al peso metabólico, G=Gramínea y L=Leucaena

*Calle et al. (2013), Barahona et al. (2014) y Cuartas et al. (2015)

†Piñero-Vázquez et al. (2017)

‡Bacab-Pérez y Solorio-Sánchez (2011), Milera (2013), Pinto et al. (2014), Bottini-Luzardo et al. (2015), Gaviria-Urbe et al. (2015), Molina et al. (2015, 2016) y Sierra-Montoya et al. (2017)

πCalle et al. (2013), Barahona et al. (2014) y Cuartas et al. (2015)

‡Molina et al. (2015)

□Aguilar-Pérez et al. (2009a), Mijares et al. (2012), Pinto et al. (2014), Bottini-Luzardo et al. (2015), Molina et al. (2016) y Piñero-Vázquez et al. (2017)

La carga animal (CA), ganancia de peso y PL por hectárea en SSP con *Leucaena* en promedio superan en 2 animales ha^{-1} , 768 kg de ganancia de peso $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ y 11189 L de leche $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ (Cuadros 5 y 6) a los promedios propuestos por FAO (2006) para condiciones tropicales usando como fuente de forraje praderas de gramíneas tropicales. Los novillos pastoreando un SSP con *Leucaena* rindieron cuatro veces más ganancia de peso por ha que los que pastorearon una pradera de gramínea tropical, debido a que en el SSP el consumo de proteína fue 43% mayor y el de FDN 14.4% menor que en la pradera de gramínea (Cuartas *et al.*, 2014). López-Vigoa *et al.* (2017) calcularon que se requerían de hasta 2.5 veces más superficie de pradera de una gramínea tropical para que los bovinos pudieran alcanzar una GDP similar a la encontrada en un SSP con *Leucaena*, en algunos estudios revisados por estos autores se registran en SSP con *Leucaena* hasta 1340 kg de ganancia de peso $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$.

Praderas de gramíneas tropicales pueden registrar rendimientos diarios de leche por vaca y ajustados a 305 días superiores a los obtenidos con SSP con *Leucaena* si la dieta consumida por las vacas en las praderas tropicales se conforma con 60% o más de un concentrado energético-proteínicos; sin embargo, en rendimientos de leche por ha los SSP con *Leucaena* superan hasta en 89% a las praderas de gramíneas tropicales complementadas con concentrados energético-proteínicos (Cuadro 7). López-Vigoa *et al.* (2017) indican a partir de varios estudios en Cuba que los SSP pueden rendir de 3000 a 16000 kg de leche $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ mientras que con praderas de gramíneas tropicales este intervalo es mucho menor.

Vacas pastoreando SSP con *Leucaena* y hasta un máximo de 4.0 kg de concentrado por vaca día^{-1} mostraron de 7.2 a 12.0 kg de leche $\text{vaca}^{-1} \text{día}^{-1}$ y una condición corporal no inferior a 2.8 (escala 1 a 5) que permitió mantener una tasa de reproducción adecuada (Bacab-Pérez y Solorio-Sánchez, 2011; Razz, 2013; López-Vigoa *et al.*, 2017); en otros estudios, vacas pastoreando SSP con *Leucaena* registraron 14 a 17 kg de leche $\text{vaca}^{-1} \text{día}^{-1}$, 3360 a 4080 kg de leche lactancia⁻¹ e intervalo entre partos no mayor a 14 meses (Sierra *et al.*, 2017; Sierra-Montoya *et al.*, 2017) valores altos y pertinentes a mejorar la rentabilidad de empresas ganaderas tropicales. Complementar con concentrados a vacas pastoreando SSP debe justificarse económica y no solo biológicamente (López *et al.*, 2015). Faría *et*

al. (2007) y Peniche-González *et al.* (2014) determinaron que *Leucaena* ofrecida como banco de proteína con acceso diario por 2 a 4 h podría equivaler hasta a 2 kg de concentrado energético-proteínicos, lo que resalta la importancia de los SSP con *Leucaena* para mejorar en la rentabilidad de la empresa ganadera tropical.

RESPUESTA EN CALIDAD DE LECHE Y CARNE

Aun con diferencia en la cantidad de leche producida por vaca, la calidad de la leche es similar en vacas pastoreando praderas de gramíneas o SSP con *Leucaena* (Cuadro 6), debido a que en ambas situaciones el consumo de fibra es similar (Church *et al.*, 2002). Con respecto a la carne de bovino el consumidor demanda carne con la mayor concentración de ácidos grasos polinsaturados (AGPI) porque se asocia a menos trastornos cardiovasculares y cáncer en humanos (Kolanowski y Laufenberg, 2006). Scollan *et al.* (2006) y Rodríguez *et al.* (2013) encontraron que la carne de novillos engordados por pastoreo de un SSP mostró menor cantidad de grasa y mayores concentraciones de C18:3 (α -linolénico u Ω_3) y de AGPI en comparación a la de novillos finalizados con dietas de alta concentración energética. Shingfield *et al.* (2010) proponen que los TC presentes en el follaje de *Leucaena* evitan la biohidrogenación de los ácidos grasos insaturados y por eso es mayor la calidad de la carne de novillos finalizados pastoreando SSP con *Leucaena*.

La razón C18:2/C18:3 ha sido de 4 o menor y de 6 o mayor en carne de bovinos engordados en SSP con *Leucaena* y praderas de gramíneas, respectivamente, la razón más adecuada es de 2 o menor (Scollan *et al.*, 2006; Díaz *et al.*, 2014). Díaz *et al.* (2014) señalaron que la mejor proporción C18:2/C18:3 en la carne de bovinos engordados con SSP permitió un peso de sacrificio mayor, sin detrimento en la calidad de la carne y manteniéndose ésta como un alimento saludable, ya que el mayor peso no ocasionó mayor aporte de grasa en la canal. Los SSP con *Leucaena* son por tanto una opción económica y rentable para mejorar la PL y ganancia de peso en bovinos con nulo o mínimo uso de concentrados energético-proteínicos en comparación al pastoreo de bovinos en praderas de gramíneas tropicales aun con complementación con concentrados energético-proteínicos (Shelton y Dalzell, 2007; Mijares *et al.*, 2012; Díaz *et al.*, 2014).

Cuadro 5. Parámetros de productividad ($\bar{x}\pm s$) de bovinos para engorda alimentados con follaje (hojas más tallos de diámetro no mayor a 5 mm) de *Leucaena leucocephala* y forraje de pastos tropicales utilizados en sistemas silvopastoriles. El número entre paréntesis indica la cantidad de registros reportados en la literatura.

| Sistema ¹ | Parámetro ² | | | | | | | Contribución por país (%) | Contribución por especie (%) | Fuente |
|----------------------|------------------------|----------------|-----------------|----------------------------|---------------------------|---|-------------------|---|--|--------|
| | PVi (kg) | PVf (kg) | PE (días) | GDP (g día ⁻¹) | CA (UA ha ⁻¹) | GPUS (kg ha ⁻¹ año ⁻¹) | SRPITCA (ha) | | | |
| Leucaena en SSP | | | | | | | | | | |
| ADP | 250 (1) | 440 (1) | 238 (1) | 710±143 (5) | 3.46±0.53 (5) | 897±236 (5) | 1.17±0.32 (5) | Colombia (100) | <i>Cynodon plectostachyus</i> (50), <i>Megathyrus maximus</i> cv Tanzania (37.5) y <i>M. maximus</i> (12.5) | * |
| BF | 319±24 (6) | 505±80 (6) | 204±61 (6) | 851±241 (6) | 2.79±0.70 (5) | 1337±308 (5) | 0.77±0.14 (5) | Australia (83) y Paraguay (17) | <i>Chloris gayana</i> (45.5), <i>Digitaria didactyla</i> (45.5), <i>M. maximus</i> (9) | † |
| PC | 203±46 (13) | 423±74 (13) | 324±93 (13) | 693±159 (13) | 2.66±1.19 (14) | 788±525 (14) | 1.73±0.84 (14) | Cuba (57), Colombia (22), Australia (7), Costa Rica (7) y México (7) | <i>M. maximus</i> cv. Likoni (43), <i>Cenchrus purpureum</i> cv CT-115 (22), <i>M. maximus</i> (14), <i>Brachiaria brizantha</i> (7), <i>C. gayana</i> (7) y <i>C. plectostachyus</i> (7) | ¶ |
| Convencional | | | | | | | | | | |
| GM | 240±79 (14) | 388±92 (14) | 353±320 (14) | 437±138 (16) | 1.69±0.94 (15) | 273±170 (14) | 6.06±4.77 (14) | Colombia (42), Australia (27), México (16), Brasil (5), Costa Rica (5) y Paraguay (5) | <i>C. plectostachyus</i> (28), <i>C. gayana</i> (24), <i>D. didactyla</i> (19), <i>M. maximus</i> cv Tanzania (14), <i>Bothriochloa pertusa</i> (5), <i>B. brizantha</i> (5) y <i>B. decumbens</i> (5) | π |

¹SSP=Sistemas silvopastoriles, ADP=Árboles dispersos en potreros, BF=Banco forrajero, PC=Pastura en callejones y GM=Gramínea en monocultivo

²PVi=Peso vivo inicial, PVf=Peso vivo final, PE=Periodo de engorda, GDP=Ganancia diaria de peso, CA=Carga animal, GPUS=Ganancia de peso por unidad de superficie y SRPITCA=Superficie requerida para producir una tonelada de carne al año

*Naranjo *et al.* (2012), Calle *et al.* (2013) y Tarazona *et al.* (2013)

†Peralta *et al.* (2012) y Taylor *et al.* (2016)

¶Jiménez (2007), Sánchez *et al.* (2010), Bacab *et al.* (2013), Cuartas *et al.* (2013), Mayo-Eusebio *et al.* (2013), Díaz *et al.* (2014) y Harrison *et al.* (2015)

πJiménez (2007), Paciullo *et al.* (2011), Mijares *et al.* (2012), Naranjo *et al.* (2012), Peralta *et al.* (2012), Bacab *et al.* (2013), Calle *et al.* (2013), Cuartas *et al.* (2013), Tarazona *et al.* (2013), Harrison *et al.* (2015) y Taylor *et al.* (2016)

Cuadro 6. Parámetros de productividad y calidad de leche ($\bar{x}\pm s$) de vacas alimentadas con follaje (hojas más tallos de diámetro no mayor a 5 mm) de *Leucaena leucocephala* y forraje de pastos tropicales utilizados en sistemas silvopastoriles. El número entre paréntesis indica la cantidad de registros reportados en la literatura.

| Sistema ¹ | Productividad ² | | | | | | Calidad de leche ² | | | | | | Suplemento | | Contribución por genotipo (%) | Contribución por país (%) | Contribución por especie (%) | Fuente | | |
|----------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------|---------------------------|---|-------------------------------|-------------------------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------------------------|---|---------------------------|---|--|---|---------------|
| | PV (kg) | PLD (kg día ⁻¹) | PL305 (kg) | CA (UA ha ⁻¹) | PLUS (kg ha ⁻¹ año ⁻¹) | CPV (g animal ⁻¹) | GB (%) | PB (%) | SNG (%) | AC (°D) | LAC (%) | ST (%) | CS (%) | UR (mg 100 mL ⁻¹) | | | | | Tipo (%) | Cantidad (kg) |
| Leucaena en SSP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ADP | | 9.2±1.2 (2) | 3040±14 (2) | 3.9±0.6 (2) | 14403±1983 (2) | 621±182 (2) | 3.8 (1) | 3.3 (1) | | | | | | | Ninguno (100) | 0.0±0.0 (2) | Holstein x Cebú (100) | Colombia (100) | <i>Cynodon plectostachyus</i> (67) y <i>Megathyrsus maximus</i> cv. Tanzania (33) | * |
| BF | 466±23 (2) | 9.1±2.1 (4) | | 3.0±0.0 (2) | | 101±397 (2) | 3.6±1.0 (7) | 3.0±0.2 (7) | 8.2±0.1 (3) | 18.4±1.2 (4) | 4.7±0.2 (5) | 11.7±1.6 (4) | 2.4±0.1 (3) | 26.6 (1) | Concentrado comercial (57), Ninguno (29) y Melaza (14) | 1.3±1.0 (4) | Holstein x Cebú (67) y Suizo Americano x Cebú (20) | Venezuela (57) y México (43) | <i>M. maximus</i> (62.5), <i>C. nlemfuensis</i> (25) y <i>Brachiaria humidicola</i> (12.5) | † |
| PC | 475±18 (7) | 9.8±2.2 (9) | 3010±654 (9) | 3.6±1.2 (5) | 11957±1851 (3) | 230±372 (2) | 3.8±0.4 (3) | 3.0±0.0 (3) | 8.6±0.0 (2) | 4.7±0.7 (3) | 12.8±0.1 (2) | | | | Concentrado comercial (67), Harina de algodón (11), Pulidura de arroz (11) y Ninguno (11) | 1.9±1.3 (8) | Holstein x Cebú (40), Holstein (20), Suizo Americano (20), Brahman (10) y Carora (10) | México (50), Cuba (30), Colombia (10) y Venezuela (10) | <i>M. maximus</i> cv. Tanzania (30), <i>C. nlemfuensis</i> (20), <i>C. plectostachyus</i> (20), <i>M. maximus</i> cv. Likoni (20) y <i>Brachiaria spp.</i> (10) | ‡ |
| Convencional | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GM | 456±27 (6) | 10.0±2.2 (10) | 3080±626 (10) | 1.9±0.2 (4) | 6299±2274 (4) | -63±444 (7) | 3.7±0.2 (6) | 3.1±0.2 (6) | 8.5 (1) | 4.6±0.3 (6) | 12.0 (1) | | | | Concentrado comercial (64), Pulidura de arroz (18), Grasa de sobrepaso (9) y Ninguno (9) | 3.2±2.1 (9) | Holstein x Cebú (60), Brahman (10), Carora (10), Holstein (10) y Suizo Americano (10) | México (73), Colombia (18) y Venezuela (9) | <i>C. nlemfuensis</i> (38), <i>C. plectostachyus</i> (23), <i>M. maximus</i> cv. Tanzania (15), <i>B. decumbens</i> (8), <i>B. radicans</i> (8) y <i>Paspalum sp.</i> (8) | π |

¹SSP=Sistemas silvopastoriles, ADP=Árboles dispersos en potreros, BF=Banco forrajero, PC=Pastura en callejones y GM=Gramínea en monocultivo

²PV=Peso vivo, PLD=Producción de leche (PL) diaria, PL305=PL ajustada a 305 días, CA=Carga animal, PLUS=Productividad lechera por unidad de superficie, CPV=Cambio de PV, GB=Grasa bruta, PB=Proteína bruta, SNG=Sólidos no grasos, AC=Acidez, LAC=Lactosa, ST=Sólidos totales, CS=Caseína y UR=Urea

*Tarazona et al. (2013)

†Bobadilla-Hernández et al. (2007), Fariá et al. (2007), Razz y Clavero (2007) y Tinoco-Magaña et al. (2012)

‡Urbano et al. (2006), Lamela et al. (2009), Bacab-Pérez y Solorio-Sánchez (2011), González (2013), Peniche-González et al. (2014), Bottini-Luzardo et al. (2015), López et al. (2015) y Sierra-Montoya et al. (2017)

πUrbano et al. (2006), Mahecha et al. (2007), Aguilar-Pérez et al. (2009a,b), Bacab-Pérez y Solorio-Sánchez (2011), González (2013), Tarazona et al. (2013), Peniche-González et al. (2014) y Bottini-Luzardo et al. (2015)

EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

La sostenibilidad de la ganadería pastoril con rumiantes alimentados casi exclusivamente con gramíneas está fuertemente amenazada por señalarse que es emisora de hasta 37% del CH₄, 9% del CO₂, 65% del óxido nitroso (N₂O) y 64% del amoníaco, todos ellos gases de efecto invernadero (Knapp *et al.*, 2014; FAO, 2006; Steinfeld *et al.*, 2006). Los SSP con Leucaena u otras leguminosas arbóreas han demostrado mejorar la producción animal sin aumento y a veces con reducción en la liberación de CH₄ proveniente de la fermentación ruminal (Shelton y Dalzell, 2007; Barahona *et al.*, 2014; Molina *et al.*, 2013; 2016). El follaje de Leucaena u otras leguminosas arbóreas origina una menor liberación de CH₄ por kg de MS consumida y degradada (Cuadro 8), Molina *et al.* (2013) encontraron que la inclusión de Leucaena a dietas con base en gramíneas tropicales redujo hasta en 8% la emisión de CH₄ ruminal con respecto de la dieta conformada únicamente por gramíneas tropicales.

Toretos en engorda mostraron el mismo consumo total de forraje, pero con hasta 61% menor liberación de CH₄ por animal al ingerir una dieta con 80% de follaje de Leucaena en comparación a la dieta testigo conformada únicamente por forraje de una gramínea tropical (Piñeiro-Vázquez *et al.*, 2017). Bovinos pastoreando un SSP con hasta 20% de oferta de follaje de Leucaena mostraron 21% menor pérdida calculada de energía bruta en forma de CH₄ ruminal en comparación a los que pastorearon gramíneas tropicales (Cuadro 8); en otros estudios, la reducción en la cantidad de energía bruta

perdida como CH₄ ruminal varió de 2 a 18% dependiendo de la concentración de fibra y otras características de calidad (Eckard *et al.*, 2010; Barros-Rodríguez *et al.*, 2014; Casanova-Lugo *et al.*, 2016). Beauchemin *et al.* (2009) señalaron que la reducción del 25% en la liberación de CH₄ ruminal registrada en vacas pastoreando un SSP con Leucaena se asoció con incrementos de 0.075 a 1.0 kg de leche vaca⁻¹día⁻¹ todo en comparación con vacas pastoreando gramíneas tropicales.

La reducción en el CH₄ ruminal no debe asociarse a una reducción en la disponibilidad en rumen de los AGV's que aportan 70-75% de la energía requerida por bovinos en pastoreo (Bergman, 1990; Ryle y Ørskov, 1990), al respecto Chakeredza *et al.* (2007) encontraron que la fermentación en rumen de leguminosas forrajeras incrementa la concentración de AGV's sin afectar las proporciones relativas ni el pH ruminal por lo que su uso en la alimentación no afectaría el aporte de energía a nivel del rumen. En el balance total, la emisión de gases de efecto invernadero por kg de peso ganado o de leche producida por bovinos en SSP con Leucaena es menor a la de sistemas de alimentación de bovinos con praderas de gramíneas tropicales (Cuartas *et al.*, 2014; Molina *et al.*, 2015; 2016), además en este balance se debe considerar que los SSP con Leucaena pueden soportar una mayor carga animal que los sistemas de praderas con gramíneas tropicales lo que reduce la superficie para la ganadería pastoril con rumiantes, reduciendo con ello la superficie con emisión de gases de efecto invernadero (Naranjo *et al.*, 2012).

Cuadro 7. Producción de metano ($\bar{x} \pm s$) por bovinos alimentados con diferentes niveles de inclusión de follaje (hojas más tallos de diámetro no mayor a 5 mm) de Leucaena en la dieta. El número entre paréntesis indica la cantidad de registros reportados en la literatura.

| Variable* | Nivel de inclusión en la dieta (%) | | | | | |
|--|------------------------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 |
| CH ₄ (g animal ⁻¹ día ⁻¹) | 128±29 (4) | 135±18 (4) | 116 (1) | 111 (1) | 98 (1) | - |
| CH ₄ (% CMS) | 2.2±1.0 (3) | 1.9±0.6 (3) | 1.3 (1) | 1.2 (1) | - | - |
| CH ₄ (% CMO) | 3.3 (1) | 2.7 (1) | - | - | - | - |
| CH ₄ (% MSF) | 5.9±0.5 (2) | 3.9±0.2 (2) | - | - | - | - |
| Pérdida de energía como CH ₄ (Mcal día ⁻¹ animal ⁻¹) | 1.8±0.5 (3) | 1.7±0.7 (3) | 0.8 (1) | 0.7 (1) | 0.5 (1) | - |
| Pérdida de energía como CH ₄ (% CEB) | 7.4±2.5 (6) | 6.1±1.9 (6) | 3.1 (1) | 2.8 (1) | 2.0 (1) | - |
| Producción de gas <i>in vitro</i> (mL en 0.5 g MS fermentado) | 242±17 (3) | 243±33 (3) | 229±68 (2) | 211±81 (2) | 187±86 (2) | 157±59 (3) |

*MS=Materia seca, CMS=Consumo de MS, CMO=Consumo de materia orgánica, MSF=MS fermentada y CEB=Consumo de energía bruta

Adaptado de Molina *et al.* (2013, 2015, 2016), Barahona *et al.* (2014), Cuartas *et al.* (2015), Gaviria *et al.* (2015), Naranjo *et al.* (2016) y Piñeiro-Vázquez *et al.* (2016)

LOS COMPUESTOS SECUNDARIOS

Efecto en consumo de materia seca y nutrientes

Vaquillas *Bos taurus* × *B. indicus* no mostraron efectos negativos en la eficiencia de utilización de la energía, consumo de nutrientes, balance de N y síntesis de proteína microbiana ruminal cuando fueron alimentadas con gramíneas tropicales y hasta 3% de TC por kg de MS (Piñeiro-Vázquez *et al.*, 2016; 2017), considerando este nivel y una concentración media de 4% de TC en follaje de Leucaena se podría calcular que la dieta de bovinos tenga hasta 40% de Leucaena, lo que es una proporción menor a la sugerida por O'Reagain *et al.* (2014) como nivel seguro de uso, a su vez Mayo-Eusebio *et al.* (2013) señalan que 40% de Leucaena en dieta implica ahorros importantes en el uso de pastas o harinas de oleaginosas y cereales.

En vacas el consumo voluntario total fue de 78.9 y 92.9 g kg PV^{-0.75} a 0 y 45% de Leucaena en la dieta, respectivamente; sin embargo, la vacas con exposición previa a la Leucaena tuvieron un consumo voluntario total menor, esta situación se explicó a un posible trastorno subclínico por acumulación de DHP's de la fermentación ruminal de la Mimosina (Ruz-Ruiz *et al.*, 2013). El aumento en el consumo voluntario total al proveer forraje de leguminosas como la Leucaena se debe que el animal recibe mayor cantidad de proteína en el intestino delgado por la mayor ingesta de este componente (Pinto *et al.*, 2014), los mayores consumos totales y de proteína pueden reflejarse en un rendimiento de hasta 10 kg de leche vaca⁻¹ día⁻¹ con alimentación exclusiva de forraje (Aguilar-Pérez *et al.*, 2009a; López *et al.*, 2015). Los incrementos en consumo voluntario al proveer Leucaena en la dieta están asociados a mayores tasas de degradación de la materia seca y de pasaje (Piñeiro-Vázquez *et al.*, 2017). El aumento en las tasas de degradación de la materia seca, proteína y FDN se registraron siempre que el aporte de la Leucaena en la dieta no fuera mayor al 40% (Barros-Rodríguez *et al.* 2015; Gaviria *et al.*, 2015).

Efecto en la salud

Registrar los máximos consumos voluntarios y tasas de pasaje a cierto nivel de inclusión de Leucaena en la dieta de bovinos se ha explicado con base al perfil de acumulación de 2,3 y 3,4-DHP derivados de la fermentación ruminal de Mimosina (Sierra-Montoya *et al.*, 2017), cuando la Mimosina en la dieta consumida por bovinos pastoreando un SSP con Leucaena no superó 0.64% no se registró ningún síntoma de toxicidad por la baja concentración de este compuesto (Bottini-Luzardo *et al.*, 2015), en alimentación en pesebre de novillos Charolais x Santa Gertrudis (328 kg PV) con una dieta que incluía 60% de follaje de

Leucaena no se registraron síntomas de intoxicación ya que la excreción de Mimosina en orina a las 35 h de alimentados no superó las 1.6 ppm lo que se consideró como indicativo de que la Mimosina fue fermentada hasta productos inocuos para los novillos (O'Reagain *et al.*, 2014).

Concentraciones en la orina de vacas de 1000 mg L⁻¹ de 2,3-DHP o superiores se asociaron con síntomas de toxicidad e imposibilidad de degradación de este compuesto (Phaikaew *et al.*, 2012), mientras que concentraciones en orina no superiores a 100 mg L⁻¹ fueron consideradas como inocuas en novillos de engorda (Halliday *et al.*, 2013). Bottini-Luzardo *et al.* (2015) advierten que además de posibles efectos tóxicos derivados de la fermentación ruminal de Mimosina, dietas con alto contenido de Leucaena pueden promover niveles de N ureico en fluidos corporales de hasta 14.5 mg dL⁻¹ que podrían ocasionar trastornos en el comportamiento reproductivo.

Bovinos ingiriendo Leucaena mostraron hasta 60% menor conteo de huevos de nematodos gastrointestinales en heces que los bovinos pastoreando gramíneas tropicales, la menor carga parasitaria se explicó con base en que los TC de la Leucaena impidieron el desarrollo de los organismos parásitos, señalando que incorporar Leucaena a la dieta de bovinos mejora el comportamiento productivo de los mismos no solo por el mayor consumo de proteína (Soca *et al.*, 2007). *In vitro*, el extracto de hojas de Leucaena varió en el grado para contrarrestar el crecimiento y dispersión de diferentes especies y cepas de parásitos gastrointestinales, según se haya dado o no una exposición previa de estos parásitos a los TC presentes en el follaje consumido por el animal hospedero (Calderón-Quintal *et al.*, 2010). Von Sonde Fernex *et al.* (2015) encontraron en condiciones *in vitro* que el extracto acuoso de Leucaena superó al Levamisol al 1% en reducir la cantidad de huevos eclosionados de *Cooperia spp.*, proponiendo como concentración letal de este extracto 7.93 mg mL⁻¹. González *et al.* (2006a) encontraron que la inhibición *in vitro* del desarrollo y dispersión de parásitos gastrointestinales con TC no implicó ninguna mejora en el comportamiento productivo de bovinos parasitados a los que se les agregó en dieta estos mismos TC. López-Vigoa *et al.* (2017) enfatizan que el ataque contra nematodos gastrointestinales dentro del hospedero debe complementarse con generar un ambiente edáfico con coleópteros coprófagos que desintegren las heces para que huevos y larvas presentes en ellas sean aniquiladas por exposición a la radiación solar y deshidratación y con hongos nematófagos que ataquen directamente a los nematodos, este ambiente edáfico puede promoverse bajo SSP que procuren cobertura del suelo, condiciones microclimáticas y materia orgánica.

Para consolidar el impacto del follaje de *Leucaena* en SSP para pastorear bovinos como un medio para contrarrestar cargas parasitarias de nematodos gastrointestinales deberá seguirse investigando sobre los factores que impiden que los resultados obtenidos *in vitro* puedan replicarse *in vivo* y sobre las condiciones microambientales físicas y biológicas de los SSP que favorecen la predación de los estados larvarios de los nematodos gastrointestinales fuera del animal hospedero.

La toxicidad por Mimosina causa alopecia, anorexia, bocio y muerte (Jones *et al.*, 1989; Dalzell *et al.*, 2012; Bindari *et al.*, 2013), la intensidad de los síntomas y la muerte dependen del nivel de consumo de *Leucaena*, cuando *Leucaena* conformó 30% o más de la dieta (Jones y Hegarty, 1984; Jones *et al.*, 1989), se registró la muerte de bovinos en particular aquellos que no tenían en rumen poblaciones de las bacterias *Synergistes jonesii*, *Streptococcus bovis* y *Klebsiella spp.*, señaladas como capaces de degradar ambos DHP's derivados de la fermentación ruminal de la Mimosina (Aung *et al.*, 2011; Dalzell *et al.*, 2012). Sin embargo, bovinos pastoreando gramíneas tropicales y *Leucaena* no presentaron síntomas de toxicidad aun cuando la dieta consumida se conformó de hasta 40% de *Leucaena* (Halliday *et al.*, 2013; Piñeiro-Vázquez *et al.*, 2017; Sierra-Montoya *et al.*, 2017) lo que permite resaltar la importancia de proveer de otro forraje además de la *Leucaena* como un medio para reducir el riesgo de intoxicación.

Las saponinas son otro conjunto de compuestos orgánicos presentes en el follaje de *Leucaena* con concentraciones de alrededor del 1.0% (Verdecia *et al.*, 2012), las saponinas junto con los flavonoides son compuestos con actividad antioxidante y citotóxica específica, lo que ha permitido señalarlos como compuestos con potencial contra carcinomas (Hassan *et al.*, 2014), específicamente los compuestos mas efectivos de actividad antitumoral fueron: ácido cafeico, isorhamnetina-3-O-galactósido y luteolina-7-glucósido, que superaron la actividad de los compuestos tesigos que fueron acetato de etilo, cloroformo y butanol. En bovinos, la presencia de TC, flavonoides y saponinas en el follaje de *Leucaena* reduce el riesgo de timpanismo, la degradación y metanogénesis ruminal (Morales-Velasco *et al.*, 2016).

Efecto en la reproducción

Vacas sin exposición previa a *Leucaena* al consumirla mostraron un nivel alto de Mimosina lo que se asoció a muertes embrionarias (Hammond, 1995), sin embargo, no se encontró información científica que

describa la relación causa-efecto de la Mimosina con la muerte embrionaria. Vacas consumiendo follaje de *Leucaena* registraron alteraciones en la función ovárica, una mayor vida útil del cuerpo lúteo y la expresión del estro, pero manteniendo un desarrollo folicular sin alteraciones (Cuadro 7). Los trastornos mencionados que reducen la fertilidad de las vacas responden al mayor consumo de proteína asociado a la ingesta de follaje de *Leucaena* que a su vez ocasiona niveles altos de N ureíco y con ello se disminuye la progesterona circulante y se estimula la síntesis de PGF₂ (Butler, 1998; Bindari *et al.*, 2013; Bottini-Luzardo *et al.*, 2015).

Peniche-González *et al.* (2014) señalan que, si las vacas consumen forraje de gramíneas y *Leucaena* se mejora la PL sin detrimento del comportamiento reproductivo de las mismas, ya que el consumo de *Leucaena* no llega a niveles que permitan la acumulación en la vaca de algún compuesto con potencial tóxico. Además de controlar el consumo de *Leucaena* con la oferta de forraje de gramínea, a través de mutaciones inducidas con etil metanosulfonato se han logrado variedades de *Leucaena* con reducciones en Mimosina de 50% o más con respecto de variedades testigo, con estas reducciones en Mimosina la *Leucaena* puede conformar 30% o más de la dieta logrando mejoras en el desempeño productivo y sin riesgo de trastornos por intoxicación (Peniche-González *et al.*, 2014; Zaky *et al.*, 2014).

Otro acercamiento para controlar el consumo de *Leucaena* y así la ingesta de Mimosina ha sido ofrecer un complemento energético como sorgo molido a 0.4% del PV de la vaca, lo que junto con reducir el consumo de *Leucaena*, incrementó la tasa de gestación en 42% y la reactivación ovárica posparto (Tinoco-Magaña *et al.*, 2012).

Efecto en la emisión de metano

Galindo *et al.* (2008) concluyeron que la defaunación ruminal de hasta 55% en animales consumiendo follaje de *Leucaena* en comparación con los alimentados con dietas sin *Leucaena* fue lo que originó la menor liberación de CH₄ ruminal, proponiendo que se deben identificar los compuestos específicos del follaje de *Leucaena* y otras leguminosas arbóreas que causan la defaunación ruminal. Clavero (2011) señala que los TC presentes en *Leucaena* y otras leguminosas pueden jugar un papel importante en la reducción del CH₄ ruminal liberado al inhibir directa o indirectamente la actividad enzimática de poblaciones bacterianas metanogénicas.

Cuadro 8. Parámetros reproductivos ($\bar{x}\pm s$) de vacas lecheras alimentadas con follaje (hojas más tallos de diámetro no mayor a 5 mm) de *Leucaena leucocephala* y *Cynodon nlemfuensis* en sistemas silvopastoriles. El número entre paréntesis indica la cantidad de registros reportados en la literatura.

| Sistema ¹ | PPO (días) | PVO (%) | VUPCL (días) | PVSC (%) | PPE (días) | Folículos (n) ¹ | | | VUPFP (días) | OF (n) | TG (%) |
|----------------------|---------------|--------------|-----------------|--------------|---------------|----------------------------|-------------------|----------------|-----------------|-----------|--------------|
| | | | | | | P (3.0–5.9 mm) | M (6.0–9.9 mm) | D (>10 mm) | | | |
| GM | 56±19 (5) | 56±22 (5) | 17 (1) | 58±14 (5) | 60±6 (5) | 5.0±1.5 (4) | 2.8±3.5 (7) | 1.2±1.2 (7) | 3.9 (1) | 10 (1) | 34±11 (5) |
| PC | 28 (1) | 50 (1) | 23 (1) | 25 (1) | 67 (1) | 4.8±1.0 (2) | 2.1±0.4 (2) | 1.0±0.1 (2) | 5.4 (1) | 11 (1) | 33 (1) |

¹GM=Gramínea en monocultivo, PC=Pastura en callejones, P=Pequeños, M=Medianos, D=Dominantes, PPO=Parto-primer ovulación, PVO=Proporción de vacas en ovulación, VUPCL=Vida útil del primer cuerpo lúteo, PVSC=Proporción de vacas con signos de celo, PPE=Parto-primer estro, VUPFP=Vida útil del primer folículo preovulatorio, OF=Ondas foliculares y TG=Tasa de gestación. Adaptado de: Aguilar-Pérez *et al.* (2009 a, b), Pinto-Santini *et al.* (2009), Peniche-González *et al.* (2014) y Bottini-Luzardo *et al.* (2015)

Huang *et al.* (2010) encontraron *in vitro* 82% menor liberación de CH₄ cuando el medio de cultivo contenía TC de 2871 Da a una dosis de 40 mg kg⁻¹ MS con respecto al medio sin TC, Tan *et al.* (2011) registraron 1.9 veces menos CH₄ liberado cuando el medio de cultivo contenía 60 mg de TC kg⁻¹ MS. Además de la concentración, el peso molecular de los TC determina la magnitud de la reducción del CH₄ liberado, a mayor peso molecular mayor es la reducción en la emisión de CH₄, Huang *et al.* (2011) registraron 27% y 1.6 veces menos CH₄ con TC de 495 y 1349 Da de peso molecular, respectivamente. Los TC de mayor peso molecular se ligan con proteínas como la prodefindina y procianidina provocando un patrón de fermentación ruminal con menor producción de CH₄ (Saminathan *et al.*, 2014).

Vaquillas consumiendo una dieta con 3% de TC redujeron 48 y 85% el CH₄ ruminal y la pérdida de energía bruta como CH₄ liberado, en comparación a las vaquillas con una dieta libre de taninos condensados (Piñeiro-Vázquez *et al.*, 2016); en condiciones *in vitro*, medios de cultivo con follaje de *Leucaena* conteniendo 4.4% de TC kg MS⁻¹ emitieron en promedio 8.9 mL de CH₄ g⁻¹ de MS que fue la menor cantidad en comparación a lo obtenido en otros medios de cultivo conteniendo forraje de otras especies (Soltan *et al.*, 2016). Los TC en el rumen pueden tener acciones biocidas o bacteriostáticas contra organismos metanogénicos y contra bacterias celulolíticas lo que disminuye la fermentación de carbohidratos estructurales y con ello la producción de acetato, la formación de CO₂ y poder reductor (H₂) necesarios para la metanogénesis (Jayanegara *et al.*, 2011; Tan *et al.*, 2011; Goel y Makkar, 2012; Saminathan *et al.*, 2015 y 2016), y si el CH₄ pudiera reemplazarse por el acetato esta acetogénesis reductiva implicaría una ganancia energética de hasta 15% (Joblin, 1999). También, la manipulación de la población microbiana en rumen con vacunas de metanógenos reduce la actividad metanogénica y con ello una reducción

superior a 7% de CH₄ en base seca (Wright *et al.*, 2007; McAllister y Newbold, 2008).

CONCLUSIONES

Los sistemas silvopastoriles con *Leucaena* en callejones proveen de un follaje que puede mejorar la productividad y eficiencia de la ganadería bovina pastoril en ambientes tropicales, por contener mayor cantidad de proteína (24.9% PB) y energía (4.6 Mcal EB kg MS⁻¹) y favorecer un consumo voluntario individual (7.11 kg MS día⁻¹) mayor que el follaje de los sistemas con praderas de gramíneas tropicales. La mejoría en productividad y eficiencia es sin originar mayor contaminación del ambiente por emisión de metano (21% menor pérdida calculada de energía bruta en forma de CH₄ ruminal) a través del mejoramiento de la calidad de la fibra en la dieta y a un efecto tóxico directo sobre los metanógenos. Los taninos condensados de las hojas de *Leucaena* en niveles inferiores a 4.0% de la dieta en base seca pueden ofrecer a los bovinos que las ingieran proteína de sobrepaso y atenuación del impacto negativo de cargas de parásitos gastrointestinales; sin embargo, a niveles altos de consumo de *Leucaena* (>40% de inclusión en la dieta base seca) o en bovinos no adaptados al consumo de *Leucaena*, se puede presentar toxicidad por compuestos derivados de la fermentación ruminal de la mimosina (3,4-DHP y 2,3-DHP) presente en las hojas de *Leucaena*. La mejora genética de *Leucaena* debe buscar poblaciones con menor contenido de mimosina (<5% base seca) que es el compuesto orgánico con potencial de contrarrestar los impactos positivos sobre la productividad de bovinos consumiendo *Leucaena*.

REFERENCIAS

Aguilar-Pérez, C., Ku-Vera, J., Centurión-Castro, F., Garnsworthy, P.C. 2009a. Energy balance, milk production and reproduction in grazing crossbred cows

- in the tropics with and without cereal supplementation. *Livestock Science*. 122: 227-233. DOI: 10.1016/j.livsci.2008.09.004
- Aguilar-Pérez, C., Ku-Vera, J., Gamsworthy, P.C. 2009b. Effects of bypass fat on energy balance, milk production and reproduction in grazing crossbred cows in the tropics. *Livestock Science*. 121: 64-71. DOI: 10.1016/j.livsci.2008.05.023
- Aguirre, O.J. 2013. Características nutricionales de algunas leñosas forrajeras. *Abanico Veterinario*. 3: 42-51. URL: <http://132.248.9.34/hevila/Abanicoveterinario/2013/vol3/no3/5.pdf>. Acceso noviembre 2017.
- Aleixo, V., Contro Malavasi, U., Calegário, N., de Matos Malavasi, M., Macedo Júnior, E.K. 2008. Allometric relationships in *Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit. *Ciência Florestal*. 18: 329-338. DOI: 10.5902/19805098444
- Anguiano, J.M., Aguirre, J., Palma, J.M. 2013. Secuestro de carbono en la biomasa aérea de un sistema agrosilvopastoril de *Cocus nucifera*, *Leucaena leucocephala* Var. Cunningham y *Pennisetum purpureum* Cuba CT-115. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 17: 149-160.
- Aung, A., Ter Meulen, U., Gessler, F., Böhnelt, H. 2011. Isolation of mimosine degrading bacteria from rumen juice and mass production by göttingen bioreactor technology. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 1: 764-772.
- Ávila, F.V.S., Revollo, F.D.A. 2014. Análisis financiero y percepción de los servicios ambientales de un sistema silvopastoril: un estudio de caso en los Tuxtlas, México. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*. 22: 17-33.
- Ayala-Burgos, A., Cetina-Góngora, R., Captillo-Leal, C., Zapata-Ramos, C., Sandoval-Castro, C. 2006. Composición química-nutricional de árboles forrajeros. Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán, Mexico. p. 41.
- Bacab-Pérez, H.M., Solorio-Sánchez, F.J. 2011. Oferta y consumo de forraje y producción de leche en ganado de doble propósito manejado en sistemas silvopastoriles en Tepalcatepec, Michoacán. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 13: 271-278.
- Bacab, H.M., Madera, N.B., Solorio, F.J., Vera, F., Marrufo, D.F. 2013. Los sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala*: una opción para la ganadería tropical. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 17: 67-81.
- Bacab, H.M., Solorio, F.J., Solorio, S.B. 2012. Efecto de la altura de poda en *Leucaena leucocephala* y su influencia en el rebrote y rendimiento de *Panicum maximum*. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 16: 65-77.
- Barahona, R., Sánchez, M.S., Murgueitio, E., Chará, J. 2014. Contribución de la *Leucaena leucocephala* Lam (de Wit) a la oferta y digestibilidad de nutrientes y las emisiones de metano entérico en bovinos pastoreando en sistemas silvopastoriles intensivos. *Carta Fedegán*. 140: 66-69.
- Barros-Rodríguez, M.A., Sandoval-Castro, C.A., Solorio-Sánchez, F.J., Sarmiento-Franco, L.A., Rojas-Herrera, R.A., Klieve, A. V. 2014. *Leucaena leucocephala* in ruminant nutrition. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 17: 173-183.
- Barros-Rodríguez, M.A., Solorio-Sánchez, F.J., Sandoval-Castro, C.A., Klieve, A., Rojas-Herrera, R.A., Briceño-Poot, E.G., Ku-Vera, J.C. 2015. Rumen function *in vivo* and *in vitro* in sheep fed *Leucaena leucocephala*. *Tropical Animal Health and Production*. 47: 757-764. DOI: 10.1007/s11250-015-0790-y
- Bautista-Tolentino, M., López-Ortíz, S., Pérez-Hernández, P., Vargas-Mendoza, M., Gallardo-López, F., Gómez-Merino, F. C. 2011. Sistemas agro y silvopastoriles en la comunidad El Limón, municipio de Paso de Ovejas, Veracruz, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 14: 63-76.
- Beauchemin, K., McAllister, T.A., McGinn, S.M. 2009. Dietary mitigation of enteric methane from cattle. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*. 4: 1-18. DOI: 10.1079/PAVSNNR20094035
- Benítez-Bahena, Y., Bernal-Hernández, A., Cortés-Díaz, E., Vera-Castillo, G., Canillo-Anzures. 2010. Producción de forraje de guaje (*Leucaena* spp.) asociado con zacate (*Brachiaria brizantha*) para ovejas en pastoreo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 1: 397-411.
- Bergman, E.N. 1990. Energy contributions of volatile fatty acids from the gastrointestinal tract in various species. *Physiological Reviews*. 70: 567-590. DOI: 10.1152/physrev.1990.70.2.567
- Bindari, Y.N., Enyenihi, G., Akpabio, U., Offiong, E. 2013. Effects of nutrition on reproduction: a review. *Advances in Applied Science Research*. 10: 413-424.
- Bodas, R., López, S., Fernandez, M., García-González, R., Rodríguez, A.B., Wallace, R.J., Gonzalez, J.S. 2008. *In vitro* screening of the potential of numerous plant species as antimethanogenic feed additives for ruminants. *Animal Feed Science and Technology*. 145: 245-258. DOI: 10.1016/j.anifeeds.2007.05.036
- Bobadilla-Hernández, A.R., Ramírez-Avilés, L., Sandoval-Castro, C.A. 2007. Effect of supplementing tree foliage to grazing dual-purpose cows on milk composition and yield. *Journal of Animal and Veterinary Advances*. 6: 1042-1046.
- Bottini-Luzardo, M., Aguilar-Perez, C., Centurion-Castro, F., Solorio-Sanchez, F., Ayala-Burgos, A., Montes-Perez,

- R., Muñoz-Rodríguez, D., Ku-Vera, J. 2015. Ovarian activity and estrus behavior in early postpartum cows grazing *Leucaena leucocephala* in the tropics. *Tropical Animal Health and Production*. 47: 1481-1486. DOI: 10.1007/s11250-015-0887-3
- Brewbaker, J.L. 1995. *Leucaena*. Dept. Horticulture, University of Hawaii. URL: <https://hort.purdue.edu/newcrop/CropFactSheets/leucaena.html#Cultivars>. Acceso Mayo 2018.
- Broom, D.M., Galindo, F.A., Murgueitio, E. 2013. Sustainable, efficient livestock production with high biodiversity and good welfare for animals. *Proceedings of Royal Society B*. 280: 2013-25. DOI: 10.1098/rspb.2013.2025
- Bugarín, J., Lemus, C., Sanjinés, L., Aguirre, J., Ramos, A., Soca, M., Arece, J. 2009. Evaluación de dos especies de *Leucaena*, asociada a *Brachiaria brizantha* y *Clitoria tematea* en un sistema silvopastoril de Nayarit, México. II. Producción y composición bromatológica de la biomasa. *Pastos y Forrajes*. 32:1-9.
- Bunglavan, S.J. 2014. Methanogenesis and recent techniques for mitigation of methanogenesis in ruminants. *Journal of Livestock Science*. 5: 35-48.
- Butler, W.R. 1998. Review: Effect of protein nutrition on ovarian and uterine physiology in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 81:2533-2539.
- Cabrera, T.E.J., Sosa, R.E.E., Castellanos, R.A.F., Gutiérrez, B.A.O., Ramírez, S.J.H. 2009. Comparación de la concentración mineral en forrajes y suelos de zonas ganaderas del estado de Quintana Roo, México. *Veterinaria México*. 40: 167-179.
- Calderón-Quintal, J.A., Torres-Acosta, J.F.J., Sandoval-Castro, C.A., Alonso, M.A., Hostec, H., Aguilar-Caballero, A. 2010. Adaptation of *Haemonchus contortus* to condensed tannins: can it be possible? *Archivos de Medicina Veterinaria*. 42: 165-171. DOI: 10.4067/S0301-732X2010000300007
- Calle, Z., Murgueitio, E., Chará, J. 2012. Integrating forestry, sustainable cattle-ranching and landscape restoration. *Unasylva*. 63: 31-40.
- Calle, Z., Murgueitio, E., Chará, J., Molina, C.H., Zuluaga, A.F., Calle, A. 2013. A strategy for scaling-up Intensive Silvopastoral Systems in Colombia. *Journal of Sustainable Forestry*. 32: 677-693. DOI: 10.1080/10549811.2013.817338
- Casanova-Lugo, F., Petit-Aldana, J., Solorio-Sánchez, F.J., Parsons, D., Ramírez-Avilés, L. 2014. Forage yield and quality of *Leucaena leucocephala* and *Guazuma ulmifolia* in mixed and pure fodder banks systems in Yucatan, Mexico. *Agroforestry Systems*. 88: 29-39. DOI: 10.1007/s10457-013-9652-7
- Casanova-Lugo, F., Ramírez-Avilés, L., Parsons, D., Caamal-Maldonado, A., Piñeiro-Vázquez, A.T., Díaz-Echeverría, V. 2016. Environmental services from tropical agroforestry systems. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 22: 269-284. DOI: 10.5154/r.rchscfa.2015.06.02
- Casanova-Lugo, F., Ramírez-Avilés, L., Solorio-Sánchez, F.J. 2010. Efecto del intervalo de poda sobre la biomasa foliar y radical en árboles forrajeros en monocultivo y asociados. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 12: 657-665.
- Chakeredza, S., Hove, L., Akinnifesi, F.K., Franzel, S., Ajayi, O.C., Sileshi, G. 2007. Managing fodder trees as a solution to human-livestock food conflicts and their contribution to income generation for smallholder farmers in southern Africa. *Natural Resources Forum*. 31: 286-296.
- Church, D.C., Pond, W.G., Pond, K.R. 2002. *Fundamentos de nutrición y alimentación de animales*. 2da. Ed. Limusa-Wiley. México D.F. 636 p.
- Clavero, T. 2011. Agroforestería en la alimentación de rumiantes en América Tropical. *Ciencias del Agro, Ingeniería y Tecnología*. 2: 11-35.
- Cortez, E.J.G., Uribe, G.M., Cruz, L.A., Lara, B.A., Romo, L.J.L. 2016. Árboles nativos para el diseño de tecnologías silvopastoriles en la Sierra de Huautla, Morelos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 16: 3371-3380.
- Cuartas, C.C.A., Naranjo, R.J.F., Tarazona, M.A.M., Barahona, R.R. 2013. Uso de la energía en bovinos pastoreando sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala* y su relación con el desempeño animal. *Revista CES de Medicina Veterinaria y Zootecnia*. 8: 70-81.
- Cuartas, C.C.A., Naranjo, R.J.F., Tarazona, M.A.M., Correa, L.G.A., Barahona, R.R. 2015. Consumo de materia seca y nutrientes y composición de la dieta en sistemas silvopastoriles intensivos basados en *Leucaena leucocephala*. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 18: 303-311.
- Cuartas, C.C.A., Naranjo, R.J.F., Tarazona, M.A.M., Murgueitio, R.E., Chará, O.J.D., Ku Vera, J., Solorio, S.F.J., Flores, E.M.X., Solorio, S.B., Barahona, R.R. 2014. Contribution of intensive silvopastoral systems to animal performance and to adaptation and mitigation of climate change. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 27: 76-94.
- Dalzell, S.A., Burnett, D.J., Dowsett, J.E., Forbes, V.E., Shelton, H.M. 2012. Prevalence of mimosine and DHP toxicity in cattle grazing *Leucaena leucocephala* pastures in Queensland, Australia. *Animal Production Science*. 52: 365-372. DOI: 10.1071/ANI1236
- Díaz, C.A., Torres, C.V., Herrera, G.S.M., Fernández, C.L., Sarduy, G.L. 2014. Modelación del crecimiento de bovinos en pastoreo con gramíneas y leguminosas. *Zootecnia Tropical*. 32: 363-376.

- Depablos, L., Godoy, S., Chico, C.F. Ordoñez, J. 2009. Nutrición mineral en sistemas ganaderos de las sabanas centrales de Venezuela. *Zootecnia Tropical*. 27: 25-37.
- Eckard, R.J., Grianger, C., de Klein, C.A.M. 2010. Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: A review. *Livestock Science*. 130: 47-56. DOI: 10.1016/j.livsci.2010.02.010
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2006. *Livestock report 2006*. FAO. Rome, Italy. URL: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/a0255e/a0255e.pdf>. Acceso Septiembre 2017.
- Faría, M.J., Sánchez, A. 2007. Efecto del aplazamiento de utilización sobre el contenido de nutrientes y digestibilidad de la materia orgánica de la asociación buffel-leucaena. *Interciencia*. 32: 185-185.
- Faría, M.J., Chirinos, Z., Morillo, D. 2007. Efecto de la sustitución parcial de alimento concentrado por pastoreo en *Leucaena leucocephala* sobre la producción y características de la leche y variación de peso de vacas mestizas. *Zootecnia Tropical*. 25: 245-251.
- Galindo, J., González, N., Delgado, D., Sosa, A., Marrero, Y., González, R., Aldana, A.I., Moreira, O. 2008. Efecto modulador de *Leucaena leucocephala* sobre la microbiota ruminal. *Zootecnia Tropical*. 26: 249-252.
- Galindo, J., Marrero, Y., Ruiz, T., González, N., Díaz, A., Aldama, A., Moreira, O., Hernández, J., Torres V., Sarduy, L. 2009. Efecto de una mezcla múltiple de leguminosas herbáceas y *Leucaena leucocephala* en la población microbiana y productos fermentativos del rumen de añajos mestizos de Cebú. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas*. 43: 256-264.
- García, D., Hilda, W.G., Gonzáles, M., Medina, M., Cova, L. 2008a. Caracterización de diez cultivares forrajeros de *Leucaena leucocephala* basada en la composición química y la degradabilidad ruminal. *Revista de Medicina Veterinaria y Zootecnia Córdoba*. 13: 1295-1303.
- García, D.E., Medina, M.G., Cova, L.J., Soca, M., Pizzani, P., Baldizán, A., Domínguez, C.E. 2008b. Aceptabilidad de follajes arbóreos tropicales por vacunos, ovinos y caprinos en el estado Trujillo, Venezuela. *Zootecnia Tropical*. 26: 191-196.
- García, D.E., Wencomo, H.B., Gonzalez, M.E., Medina, M.G., Cova, L.J., Spengler, I. 2008c. Evaluación de diecinueve accesiones de *Leucaena leucocephala* basada en la calidad nutritiva del forraje. *Zootecnia Tropical*. 26: 9-18.
- García, D.E., Wencomo, H.B., Medina, M.G., Cova, L.J., González, M.E., Pisan, P., Domínguez, C.E., Baldizán, A. 2008d. Variación interespecifica de la calidad nutricional de diecisiete accesiones de *Leucaena*. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 12: 67-80.
- García, D.E., Wencomo, H.B., Medina, M.G., Moratinos, P., Cova, L.J. 2009. Caracterización de la calidad nutritiva de 53 accesiones del género *Leucaena* en condiciones tropicales. *Pastos y Forrajes*. 32: 1-16.
- Gaviria, X., Naranjo, J.F., Barahona, R. 2015. Cinética de fermentación *in vitro* de *Leucaena leucocephala* y *Megathyrsus maximus* y sus mezclas, con o sin suplementación energética. *Pastos y Forrajes*. 38: 55-63.
- Gaviria-Urbe, X., Naranjo-Ramírez, J.F., Bolívar-Vergara, D.M., Barahona-Rosales, R. 2015. Consumo y digestibilidad en novillos cebuinos en un sistema silvopastoril intensivo. *Archivos de Zootecnia*. 64: 21-27. DOI: <http://dx.doi.org/10.21071/az.v64i245.370>
- Godoy, S., López, M., Alfaro, C., Chicco, C.F. 2007. Nutrición mineral de bovinos en las sabanas orientales de Venezuela. APPA - ALPA - Cusco, Perú, 2007. pp. 1-4.
- Goel, G., Makkar, H.P. 2012. Methane mitigation from ruminants using tannins and saponins. *Tropical Animal Health and Production*. 44: 729-739. DOI: 10.1007/s11250-011-9966-2
- Gómez, C.H., Nahed, T.J., Tewolde, A., Pinto, R.R., López, M.J. 2006. Áreas con potencial para el establecimiento de árboles forrajeros en el centro de Chiapas. *Técnica Pecuaria en México*. 44: 219-230.
- González, J.M. 2013. Costos y beneficios de un sistema silvopastoril intensivo (SSPi), con base en *Leucaena leucocephala* (Estudio de caso en el municipio de Tepalcatepec, Michoacán, México). *Avances en Investigación Agropecuaria*. 17: 35-50.
- González, G.J.C., Ayala, B.A., Gutiérrez, V.E. 2006a. Determinación de fenoles totales y taninos condensados de especies arbóreas con potencial forrajero de la región de tierra caliente del estado de Michoacán, México. *Livestock Research for Rural Development*. 18: 1-9. URL: <http://www.lrrd.org/lrrd18/11/guti18152.htm>. Acceso Mayo 2017.
- González, G.J.C., Madrigal, S.X., Ayala, B.A., Juárez, C.A., Gutiérrez, V.E. 2006b. Especies arbóreas de uso múltiple para la ganadería en la región de tierra caliente del estado de Michoacán, México. *Livestock Research for Rural Development*. 18: 1-8. URL: <http://www.lrrd.org/lrrd18/8/gonz18109.htm>. Acceso Mayo 2017.
- Ghosh, M.K., Samiran, B. 2007. Mimosine toxicity - a problem of *Leucaena* feeding in ruminants. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*. 2: 63-73. DOI: 10.3923/ajava.2007.63.73
- Halliday, M.J., Padmanabha, J., McSweeney, C.S., Kerven, G., Shelton, H.M. 2013. *Leucaena* toxicity: a new perspective on the most widely used forage tree

- legume. *Tropical Grasslands*. 1: 1-11. DOI: 10.17138/TGFT(1)1-11
- Hammond, A. 1995. *Leucaena* toxicosis and its control in ruminants. *Journal of Animal Science* 73: 1487-1492. DOI: 10.2527/1995.7351487x
- Harith, E., Szyszka, M., Günther, K.D., Meulen, U. 1987. A method for large scale extraction of mimosine. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 57: 105-110.
- Harrison, M.T., McSweeney, C., Tomkins, N.W., Eckard, R.J. 2015. Improving greenhouse gas emissions intensities of subtropical and tropical beef farming systems using *Leucaena leucocephala*. *Agricultural System*. 136: 138-146. DOI: 10.1016/j.agsy.2015.03.003
- Hassan, R.A., Tawfik, W.A., Abou-Setta, L.M. 2014. The flavonoid constituents of *Leucaena leucocephala*. Growing in Egypt, and their biological activity. *African Journal of Traditional Complementary and Alternative Medicines*. 11: 67-72. DOI: 10.4314/ajtcam.v11i1.9
- Hove, L., Franzel, S., Moyo, P.S. 2003. Farmer experiences on the production and utilization of fodder trees in Zimbabwe. Constraints and opportunities for increased adoption. *Tropical Grasslands*. 37: 279-283.
- Huang, X.D., Liang, J.B., Tan, H.Y., Yahya, R., Khamseekhiew, B., Ho, Y.W. 2010. Molecular weight and protein binding affinity of *Leucaena* condensed tannins and their effects on *in vitro* fermentation parameters. *Animal Feed Science and Technology*. 159: 81-87. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2010.05.008
- Huang, X., Liang, J., Tan, H., Yahya, R., Ho, Y. 2011. Effects of *Leucaena* condensed tannins of differing molecular weights on *in vitro* CH₄ production. *Animal Feed Science and Technology*. 166: 373-376. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2011.04.026
- Ibrahim, M., Villanueva, C., Casasola, F. 2007. Sistemas silvopastoriles como una herramienta para el mejoramiento de la productividad y rehabilitación ecológica de paisajes ganaderos en Centro América. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 15: 74-88.
- Ilham, Z., Hamidon, H., Rosji, N.A., Ramli, N., Osman, N. 2015. Extraction and quantification of toxic compound mimosine from *Leucaena leucocephala* leaves. *Procedia Chemistry*. 16: 164-170. DOI: 10.1016/j.proche.2015.12.029
- Jarillo-Rodríguez, J., Castillo-Gallegos, E., Flores-Garrido, A.F., Valles-de la Mora, B., Ramírez, L., Avilés, L., Escobar-Hernández, R., Ocaña-Zavaleta, E. 2011. Forage yield, quality and utilization efficiency on native pastures under different stocking rates and seasons of the year in the Mexican humid tropic. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 13: 417-427.
- Jayanegara, A., Leiber, F., Kreuzer, M. 2011. Meta-analysis of the relationship between dietary tannin level and methane formation in ruminants from *in vivo* and *in vitro* experiments. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 96: 365-375. DOI: 10.1111/j.1439-0396.2011.01172.x
- Jiménez-Ferrer, J.G., López-Carmona, M., Nahed-Toral, J., Ochoa-Gaona, S., Ben de Jong. 2008a. Árboles y arbustos forrajeros de la región norte-tzotzil de Chiapas, México. *Veterinaria México*. 39: 199-213.
- Jiménez-Ferrer, J.G., Pérez-López, H., Soto-Pinto, M.L., Nahed-Toral, J., Hernández-López, L., Carmona de la Torre, J. 2007. Livestock, nutritive value and local knowledge of fodder trees in fragment landscapes in Chiapas, Mexico. *Interciencia*. 32: 274-280.
- Jiménez-Ferrer, J.G., Velasco-Pérez, R., Uribe Gómez, M., Soto-Pinto, L. 2008b. Ganadería y conocimiento local de árboles y arbustos forrajeros de la selva Lacandona, Chiapas, México. *Zootecnia Tropical*. 26: 333-337.
- Jiménez, T.J.A. 2007. Diseño de sistemas de producción ganaderos sostenibles con base a los sistemas silvopastoriles (SSP) para mejorar la producción animal y lograr la sostenibilidad ambiental. Tesis Mag. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Jones, R., McLennan, M., Dowset, K. 1989. The effect of *Leucaena leucocephala* on the reproduction of beef cattle grazing *Leucaena*/grass pastures. *Trop Grasslands*. 23:108-114.
- Jones, R.J., Hegarty, M.P. 1984. The effect of different proportions of *Leucaena leucocephala* in the diet of cattle on growth, feed-intake, thyroid-function and urinary-excretion of 3-hydroxy-4(1h)-pyridone. *Australian Journal of Agricultural Research* 35, 317-325. doi:10.1071/AR9840317
- Kanani, J., Lukefahr, S.D., Stanko, R.L. 2006. Evaluation of tropical forage legumes (*Medicago sativa*, *Dolichos lablab*, *Leucaena leucocephala* and *Desmanthus bicornutus*) for growing goats. *Small Ruminant Research*. 65: 1-7. DOI: 10.1016/j.smallrumres.2005.04.028
- Knapp, J.R., Laur, G.L., Vadas, P.A., Weiss, W.P., Tricarico, J. M. 2014. Enteric methane in dairy cattle production: Quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *Journal of Dairy Science*. 97: 3231-3261. DOI: 10.3168/jds.2013-7234
- Kolanowski, W., Laufenberg, G. 2006. Enrichment of food products with polyunsaturated fatty acids by fish oil addition. *European Food Research and Technology*. 222: 472-477. DOI: 10.1007/s00217-005-0089-8
- Kumar, P., Singh, R.P., Singh, A.K., Kumar, V. 2014. Quantification and distribution of agro forestry systems and practices at global level. *HortFlora Research Spectrum*. 3: 1-6.

- Kumaresan, A., Bujarbaruah, K.M., Pathak, K.A., Brajendra, I., Ramesh, T. 2010. Soil-plant-animal continuum in relation to macro and micromineral status of dairy cattle in subtropical hillagro ecosystem. *Tropical Animal Health and Production*. 42: 569-577. DOI: 10.1007/s11250-009-9459-8
- Lamela, L., López, O., Sánchez, T., Díaz, M., Valdés, R. 2009. Efecto del sistema silvopastoral en el comportamiento productivo de vacas Holstein. *Pastos y Forrajes*. 32: 1-12.
- López, O., Lamela, L., Montejó, I.L., Sánchez, T. 2015. Influencia de la suplementación con concentrado en la producción de leche de vacas Holstein x Cebú en silvopastoreo. *Pastos y Forrajes*. 38: 46-54.
- López-Vigoa, O., Sánchez-Santana, T., Iglesias-Gómez, J.M., Lamela-López, L., Soca-Pérez, M., Arece-García, J., Milera-Rodríguez, M. de la C. 2017. Los sistemas silvopastoriles como alternativa para la producción animal sostenible en el contexto actual de la ganadería tropical. *Pastos y Forrajes*. 40: 83-95.
- Mahecha, L., Escobar, J.P., Suárez, J.F., Restrepo, L.F. 2007. *Tithonia diversifolia* (botón de oro) como suplemento forrajero de vacas FI (Holstein x Cebú). *Livestock Research for Rural Development*. 1: 1-7. URL: <http://lrrd.cipav.org.co/lrrd19/2/mahe19016.htm>. Acceso Mayo 2017.
- Martínez, M.M., Reyes, C.A., Lara, B.A., Miranda, R.L.A., Huerta, B.M., Uribe, G.M. 2016. Composición nutricional de leucaena asociada con pasto estrella en la Huasteca Potosina de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 16: 3343-3355.
- Mayo-Eusebio, R., Utrilla-García, M.P., Aguilar-Pérez, C.F., Solorio-Sánchez, F.J., Ayala-Burgos, A.J., Briceño-Poot, E.G., Ramírez-Avilés, L., Ku-Vera, J.C. 2013. Productive performance of growing cattle grazing a silvopastoral system with *Leucaena leucocephala*. In: *Proceedings of the 22nd International Grassland Congress, Sydney, Australia*. p. 1013-1014.
- McAllister, T.A., Newbold, C.J. 2008. Redirecting rumen fermentation to reduce methanogenesis. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 48:7-13.
- McDowell, L.R., Arthington, J.D. 2005. *Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales*. 4ª. ed. Universidad de Florida. Gainesville, Florida. USA.
- Memmott, K.L., Anderson, V.J., Fugal, R. 2011. Seasonal dynamics of forage shrub nutrients. *Rangelands*. 33: 12-16. DOI: 10.2111/1551-501X-33.6.12
- Mijares, L.H., Hernández, M.O., Mendoza, M.G., Vargas, V.L., Aranda, I.E. 2012. Cambio de peso de toretes en pastoreo en el trópico: respuesta a suplementación con bloque multinutricional. *Universidad y Ciencia*. 28: 39-49.
- Milera, M. 2013. Contribución de los sistemas silvopastoriles en la producción y el medio ambiente. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 17: 7-24.
- Min, B.R., Pinchak, W.E., Anderson, R.C., Fulford, J.D., Puchala, R. 2006. Effects of condensed tannins supplementation level on weight gain and *in vitro* and *in vivo* bloat precursors in steers grazing winter wheat. *Journal of Animal science*, 84: 2546-2554. DOI: 10.2527/jas.2005-590
- Minson, D.J. 1990. *Forage in ruminant nutrition*. San Diego: Academic Press.
- Molina, B.I.C., Cantet, J.M., Montoya, S., Correa, L.G.A., Barahona, R.R. 2013. Producción de metano *in vitro* de dos gramíneas tropicales solas y mezcladas con *Leucaena leucocephala* o *Gliricidia sepium*. *Revista CES de Medicina Veterinaria y Zootecnia*. 8: 15-31.
- Molina, I.C., Angarita, E.A., Mayorga, O.L., Chará, J., Barahona, R.R. 2016. Effect of *Leucaena leucocephala* on methane production of Lucerna heifers fed a diet based on *Cynodon plectostachyus*. *Livestock Science*. 185: 24-29. DOI: doi.org/10.1016/j.livsci.2016.01.009
- Molina, I.C., Donney's, G., Montoya, S., Rivera, J.E., Villegas, G., Chará, J., Barahona, R. 2015. La inclusión de *Leucaena leucocephala* reduce la producción de metano de terneras Lucerna alimentadas con *Cynodon plectostachyus* y *Megathyrus maximus*. *Livestock Research for Rural Development*. 27: 35-43. URL: <http://www.lrrd.org/lrrd27/5/moli27096.html>. Acceso Mayo 2017.
- Morales-Velasco, S., Vivas-Quila, N.J., Teran-Gomez, V.F. 2016. Ganadería eco-eficiente y la adaptación al cambio climático. *Biocología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 14: 135-144. DOI: 10.18684/BSAA(14)135-144
- Muñoz-González, J.C., Huerta-Bravo, M., Rangel-Santos, R., Lara-Bueno, A., De la Rosa-Arana, J.L. 2014. Evaluación mineral de forrajes del trópico húmedo mexicano. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 17: 285-287.
- Muñoz-González, J.C., Huerta-Bravo, M., Lara-Bueno, A., Rangel-Santos, R., De la Rosa-Arana, J.L. 2016. Producción y calidad nutricional de forrajes en condiciones del Trópico Húmedo de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 16: 3315-3327.
- Murgueitio, E., Calle, Z., Uribe, F., Calle, A., Solorio, B. 2011. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecology and Management*. 261:1654-1663.
- Murgueitio, R.E., Barahona, R., Chará, J.D., Flores, M.X., Mauricio, R.M., Molina, J.J. 2015a. The intensive silvopastoral systems in Latin America sustainable alternative to face climatic change in animal husbandry. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 49: 541-554.

- Murgueitio, R.E., Barahona, R.R., Flores, E.M.X., Chará, O.J.D., Rivera, H.J.E. 2016. Es posible enfrentar el cambio climático y producir más leche y carne con sistemas silvopastoriles intensivos. *Ceiba*. 54: 23-30. DOI: 10.5377/ceiba.v54i1.2774
- Murgueitio, E., Barahona, R., Martins, R., Flores, M.X., Chará, J., Solorio, F.J. 2015b. Intensive Silvopastoral Systems: improving sustainability and efficiency in cattle ranching landscapes. FAO. Rome, Italy.
- Návar-Cháidez, J., Rodríguez-Flores, F.D., Domínguez-Calleros, P.A. 2013. Ecuaciones alométricas para árboles tropicales: aplicación al inventario forestal de Sinaloa, México. *Agronomía Mesoamericana*. 24: 347-356.
- Naranjo, J.F., Ceballos, O.A., Gaviria, X., Tarazona, A.M., Correa, G.A., Chará, J.D., Murgueitio, E., Barahona, R. 2016. Estudio de la cinética fermentativa *in vitro* de mezclas de forrajes que incluyen *Leucaena leucocephala* proveniente de sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) en Colombia. *Revista CES de Medicina Veterinaria y Zootecnia*. 11: 6-17.
- Naranjo, J.F., Cuartas, C.A., Murgueitio, E., Chará, J., Barahona, R. 2012. Balance de gases de efecto invernadero en sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala* en Colombia. *Livestock Research for Rural Development*. 24. Obtenido el 26 de febrero de 2017 de <http://www.lrrd.org/lrrd24/8/nara24150.htm>
- National Research Council (NRC). 2016. Nutrient requirements of beef cattle. 8th ed. National Academy Press, Washington, DC, USA.
- Ørskov, E.R. 2005. Silvopastoral systems: technical, environmental and socio-economic challenges. *Pastos y Forrajes*. 28:5-9.
- O'Reagain, J.H., Graham, S.R., Dalzell, S.A., Shelton, H.M. 2014. Rates of urinary toxin excretion in unprotected steers fed *Leucaena leucocephala*. *Tropical Grassland*. 2: 103-105.
- Ortega-Gómez, R., Castillo-Gallegos, E., Jarillo-Rodríguez, J., Escobar-Hernández, R., Ocaña-Zavaleta, E., Valles de la Mora, B. 2011. Nutritive quality of ten grasses during the rainy season in a hot-humid climate and ultisol soil. *Tropical and Subtropical Agroecosystem*. 13: 481-491.
- Ortega, R.L., Castillo, H.J.E., Rivas, P.F.A. 2009. Conducta ingestiva de bovinos cebú adultos en leucaena manejada a dos alturas diferentes. *Técnica Pecuaria en México*. 47: 125-134.
- Osechas, D., Becerra, L., Rodríguez, I. 2008. Uso de *Leucaena leucocephala* como recurso forrajero en fincas doble propósito del estado Trujillo, Venezuela. *Agricultura Andina*. 14: 49-58.
- Otero, M.J., Hidalgo, L.G. 2004 Taninos condensados en especies forrajeras de clima templado: efectos sobre la productividad de rumiantes afectados por parasitosis gastrointestinales (una revisión). *Livestock Research for Rural Development*. 16 Obtenido el 12 de abril de 2018 de: <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd16/2/oter1602.htm>
- Paciullo, D.S.C., Castro, C.R.T., Gomide, C.A.M., Mauricio, R.M., Pires, M.F.A., Müller, M.D., Xavier, D.F. 2011. Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. *Livestock Science*. 141: 166-172. DOI: 10.1016/j.livsci.2011.05.012
- Palma, J.M. 2006. Los sistemas silvopastoriles en el trópico seco mexicano. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 14: 95-104.
- Peniche-González, I.N., González-López, Z.U., Aguilar-Pérez, C.F., Ku-Vera, J.C., Ayala-Burgos, A.J., Solorio-Sánchez, F.J. 2014. Milk production and reproduction of dual-purpose cows with a restricted concentrate allowance and access to an association of *Leucaena leucocephala* and *Cynodon nlemfuensis*. *Journal of Applied Animal Research*. 42: 345-351. DOI: 10.1080/09712119.2013.875902
- Peralta, J.R., Nuñez, J.J., & Branda, L. 2012. Utilización de *Leucaena leucocephala* como fuente de proteína, sobre la ganancia de peso, en novillos sobre pastura cultivada en el departamento de Presidente Hayes-Paraguay. *Compendio de Ciencias Veterinarias*. 2: 22-25.
- Pérez, A.N., Ibrahim, M., Villanueva, C., Skarpe, C., Guerin, H. 2013. Diversidad forrajera tropical. 2. Rasgos funcionales que determinan la calidad nutricional y preferencia de leñosas forrajeras para su inclusión en sistemas de alimentación ganadera en zonas secas. *Agroforestería en las Américas*. 50: 44-52.
- Petit, A.J., Casanova, L.F., Solorio, S.F. 2010. Rendimiento de forraje de *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia* y *Moringa oleifera* asociadas y en monocultivo en un banco de forraje. *Revista Forestal Venezolana*. 54: 161-167.
- Petit, A.J., Uribe, G., Casanova, F., Solorio, F., Ramírez, L. 2011. Composición química y rendimiento de forraje de *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia* y *Moringa oleifera* asociadas y en monocultivo en Yucatán, México. *Revista Forestal Latinoamericana*. 26: 35-65.
- Phaikaew, C., Suksaran, W., Ted-Arsen, J., Nakamane, G., Saichuer, A., Seejundee, S., Kotprom, N., Shelton, H.M. 2012. Incidence of subclinical toxicity in goats and dairy cows consuming leucaena (*Leucaena leucocephala*) in Thailand. *Animal Production Science*. 52: 283-286. DOI: 10.1071/AN11239
- Pinto, R.R., Ortega, R.L., Gómez, C.H., Guevara, H.F., Hernández, S.D. 2014. Comportamiento animal y características de la dieta de bovinos pastoreando estrella africana sola y asociada con árboles. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 5: 365-374.

- Pinto-Santini, L., Drescher, K., Ruiz, A. Pérez, R., Domínguez, C., Benezra M., Martínez, N. 2009. Relación entre los niveles de glucosa e insulina sanguínea y el reinicio de la actividad ovárica en vacas de doble propósito con diferentes condiciones corporales al parto y diferente nivel de alimentación postparto. *Interciencia*. 34: 350-355.
- Piñero-Vázquez, A.T., Canul-Solis, J.R., Alayón-Gamboa, J.A., Chay-Canul, A.J., Ayala-Burgos, A.J., Solorio-Sánchez, F.J., Aguilar-Pérez, C.F., Ku-Vera, J.C. 2016. Energy utilization, nitrogen balance and microbial protein supply in cattle fed *Pennisetum purpureum* and condensed tannins. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 1-11. DOI: 10.1111/jpn.12436
- Piñero-Vázquez, A.T., Jiménez-Ferrer, G.O., Chay-Canul, A.J., Casanova-Lugoc, F., Díaz-Echeverría, V.F., Ayala-Burgos, A.J., Solorio-Sánchez, F.J., Aguilar-Pérez, C.F., Ku-Vera, J.C. 2017. Intake, digestibility, nitrogen balance and energy utilization in heifers fed low-quality forage and *Leucaena leucocephala*. *Animal Feed Science and Technology*. 228: 191-201. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2017.04.009.
- Ramírez, A.L., Ku, V.J.C., Alayón, G.J.A. 2007. Follaje de árboles y arbustos en los sistemas de producción bovina de doble propósito. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 15: 251-64.
- Razz, R., Clavero, T. 2007. Efecto de la suplementación con concentrado sobre la composición química de la leche en vacas doble propósito pastoreando *Panicum maximum*-*Leucaena leucocephala*. *Revista Científica, FCV-LUZ*. 17: 53-57.
- Razz, G.R.C. 2013. *Leucaena leucocephala*: alternativa alimenticia en la ganadería tropical. En: Manejo de Pastos y Forrajes Tropicales. Cuadernos Científicos Girarz 13. Perozo Bravo A. (ed). Fundación Girarz. Ediciones Astro Data S.A. Maracaibo, Venezuela, pp. 185-192.
- Reyes, J.J., Padilla, C., Martín, P.C., Gálvez, M., Rey, S., Noda, A. Redilla, C. 2015. Consumo de forrajes tropicales por vacas lecheras, mestizas Siboney, manejadas en sistemas de estabulación. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 19: 31-40.
- Rivas, P.F., Castillo, H.J., Ortega, R.L. 2009. Selectividad de herbicidas y control de malezas para establecer una asociación *Brachiaria brizantha*-*Leucaena leucocephala*. *Técnica Pecuaria en México*. 47: 339-355.
- Rodríguez, M.E., Corral, G., Solorio, B., Alarcón, A.D., Grado, J.A., Rodríguez-Muela, C., Cortés, L., Segovia V.E., Solorio, F.J. 2013. Calidad de la carne de bovinos engordados en un sistema silvopastoril intensivo en dos épocas del año. *Tropical and Subtropical Agroecosystem*. 16: 235-241.
- Román-Miranda, M.L., Palma-García, J.M., Zorrilla-Ríos, J.M., Mora-Santacruz, A. 2016. Producción de materia seca de *Leucaena leucocephala* y vegetación herbácea en un banco de proteína pastoreada por ovinos. *Revista de Sistemas Experimentales*. 3: 42-50.
- Rossi, C.A., De León, M., González, G.L., Chagra, D.P. Pereyra, M.P. 2008. Composición química, contenido de polifenoles totales y valor nutritivo en especies de ramoneo del sistema silvopastoril del Chaco árido argentino. *Zootecnia Tropical*. 26: 105-115.
- Ruz-Ruiz, N.E., Briceño-Poot, E.G., Ayala-Burgos, A.J., Aguilar-Pérez, C.F., Solorio-Sánchez, F.J., Ramírez-Avilés, L., Ku-Vera, J.C. 2013. Urinary excretion of mimosine derivatives by cows with and without experience in consumption of *Leucaena leucocephala*. In: Proceedings of the 22nd International Grassland Congress, Sydney, Australia. p. 221-222.
- Ryle, M., Ørskov, E.R. 1990. Energy nutrition of rumen microorganisms. In: Energy Nutrition in Ruminants. Springer, Dordrecht.
- Saminathan, M., Yin, T.H., Chin, S.C., Abdullah, N., Ling, W.C.M.V., Abdulmalek, E., Ho, Y.W. 2014. Polymerization degrees, molecular weights and protein-binding affinities of condensed tannin fractions from a *Leucaena leucocephala* hybrid. *Molecules*. 19: 7990-8010. DOI:10.3390/molecules19067990
- Saminathan, M., Sieo, C.C., Abdullah, N., Wong, C.M.V.L., Ho, Y.W. 2015. Effects of condensed tannin fractions of different molecular weights from a *Leucaena leucocephala* hybrid on *in vitro* methane production and rumen fermentation. *Journal of Science of Food and Agriculture*. 95: 2742-2749. DOI: 10.1002/jsfa.7016
- Saminathan, M., Sieo, C.C., Gan, H.M., Ravi, S., Venkatachalam, K., Abdullah, N., Ling, W.C.M.V., Ho, Y.W. 2016. Modulatory effects of condensed tannin fractions of different molecular weights from a *Leucaena leucocephala* hybrid on the bovine rumen bacterial community *in vitro*. *Journal of Science of Food and Agriculture*. 96. DOI: 10.1002/jsfa.7674
- Sánchez, G.A., Faria, M.J. 2008. Efecto de la edad de la planta en el contenido de nutrientes y digestibilidad de *Leucaena leucocephala*. *Zootecnia Tropical*. 26: 133-139.
- Sánchez, G.A., Faria, M.J. 2013. Efecto de la madurez de la planta en el contenido de nutrientes y la digestibilidad en una asociación *Cenchrus ciliaris*-*Leucaena leucocephala*. *Zootecnia Tropical*. 31: 50-56.
- Sánchez, G.A., Faria, M.J., Araque, C. 2008. Producción de materia seca en una asociación *Cenchrus ciliaris*-*Leucaena leucocephala* al aplazar su utilización durante la época seca. *Zootecnia Tropical*. 26: 117-123.
- Sánchez, G.A., González-Cano, J., Faria, M.J. 2007. Evolución comparada de la composición química con la edad al

- corte en las especies *Leucaena leucocephala* y *L. trichodes*. *Zootecnia Tropical*. 25: 233-236.
- Sánchez, T., Lamela, L., López, O. 2010. Efecto de la suplementación con residuos de destilería del maíz en el comportamiento de novillas en una asociación de gramínea y leucaena. *Pastos y Forrajes*. 33: 323-332.
- Sandoval, G.L., Miranda, R.L.A., Lara, B.A., Huerta, B.M., Uribe, G.M., Martínez, M.M. 2016. Fermentación *in vitro* y la correlación del contenido nutrimental de leucaena asociada con pasto estrella. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 16: 3185-3196.
- Santiago, F.I., Lara, B.A., Miranda, R.L.A., Huerta, B.M., Krinshnamurthy, L., Muñoz, G.J.C. 2016. Composición química y mineral de leucaena asociada con pasto estrella durante la estación de lluvias. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 16: 3173-3183.
- Scollan, N., Hocquette, J.F., Nuernberg, K., Dirk, D., Ian, R., Aidan, M. 2006. Innovations in beef production systems that enhance the nutritional and health value of beef lipids and their relationship with meat quality. *Meat Science*. 74: 17-33. DOI: 10.1016/j.meatsci.2006.05.002
- Shelton, H.M. 2001. Advances in forage legumes: shrub legumes. *In: Proceedings of the XIX International Grassland Congress. Grassland Ecosystems: an Outlook Into the 21st Century*, 11-21 February 2001, Sao Pedro, Sao Paulo, Brazil.
- Shelton, M., Dalzell, S. 2007. Production, economic and environmental benefits of leucaena pastures. *Tropical Grasslands*. 41: 174-190.
- Shingfield, K.J., Bernard, L., Leroux, C., Chilliard, Y. 2010. Role of trans fatty acids in the nutritional regulation of mammary lipogenesis in ruminants. *Animal*. 4: 1140-1166. DOI: 10.1017/S1751731110000510
- Sierra, J., Nygren, P. 2006. Transfer of N fixed by a legume tree to the associated grass in a tropical silvopastoral system. *Soil Biology and Biochemistry*. 38: 1893-1903. DOI: 10.1016/j.soilbio.2005.12.012
- Sierra, M.E., Chará, J.D., Barahona, R.R. 2017. The nutritional balance of early lactation dairy cows grazing in intensive silvopastoral systems. *Ciência Animal Brasileira*. 18: 1-12. DOI: 10.1590/1089-6891v18e-40419
- Sierra-Montoya, E., Barahona-Rosales, R., Ruiz-Cortés, Z.T. 2017. Reproductive behavior of crossbred dairy cows grazing an intensive silvopastoral system under tropical dry forest conditions. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 69: 1-9. DOI: 10.1590/1678-4162-8712
- Silanikove, N., Gilboa, N., Perevolotsky, Z., Nitsan, Z. 1996. Goats fed tannin-containing leaves do not exhibit toxic syndrome. *Small Ruminant Research*. 25:195-201.
- Soca, M., Simón, L., Roque, E. 2007. Árboles y nemátodos gastrointestinales en bovinos jóvenes: un nuevo enfoque de las investigaciones. *Pastos y Forrajes*. 30: 1-16.
- Soltan, Y.A., Morsy, A.S., Sallam, S.M.A., Louvandini, H., Abdalla, A.L. 2012. Comparative *in vitro* evaluation of forage legumes (*Prosopis*, *Acacia*, *Atriplex*, and *Leucaena*) on ruminal fermentation and methanogenesis. *Journal of Animal and Feed Sciences*. 21: 753-766.
- Soltan, Y.A., Morsy, A.S., Sallam, S.M.A., Lucas, R.C., Louvandini, H., Kreu-Zer, M., Abdalla, A.L. 2013. Contribution of condensed tannins and mimosine to the methane mitigation caused by feeding *Leucaena leucocephala*. *Archives of Animal Nutrition*. 67: 169-184. DOI: 10.1080/1745039X.2013.801139
- Soltan, Y.A., Morsy, A.S., Lucas, R.C., Abdalla, A.L. 2016. Potential of mimosine of *Leucaena leucocephala* for modulating ruminal nutrient degradability and methanogenesis. *Animal Feed Science and Technology*. 223: 30-41. DOI: 10.1016/j.anifeeds.2016.11.003
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., de Haan, C. 2006. *Livestock's long shadow: Environmental issues and options*. LEAD-FAO. Rome (Italy): Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Talukder, K. 2006. Low-lignin wood - a case study. *Nature Biotechnology*. 24: 395-96.
- Tan, H., Siew, C., Abdullah, N., Liang, J., Huang, X., Ho, Y. 2011. Effects of condensed tannins from *Leucaena* on methane production, rumen fermentation and populations of methanogens and protozoa *in vitro*. *Animal Feed Science and Technology*. 169: 185-193. DOI: 10.1016/j.anifeeds.2011.07.004
- Tarazona, A.M.M., Ceballos, M.A., Cuartas, C.A., Naranjo, J.F., Murgueitio, R.E., Barahona, R.R. 2013. The relationship between nutritional status and bovine welfare associated to adoption of intensive silvopastoral systems in tropical conditions. In: Harinder P. & S. Makkar (Eds). *Enhancing animal welfare and farmer income through strategic animal feeding-Some case studies*. FAO Animal Production and Health Paper No. 175. Rome, Italy. pp. 69-78.
- Taylor, C.A., Harison, M.T., Telfer, M. Eckard, R. 2016. Modelled greenhouse gas emissions from beef cattle grazing irrigated leucaena in northern Australia. *Animal Production Science*. 56: 594-604. DOI: 10.1071/AN15575
- Tinoco-Magaña, J.C., Aguilar-Pérez, C.F., Delgado-León, R., Magaña-Monforte, J.G., Ku-Vera, J.C., Herrera-Camacho, J. 2012. Effects of energy supplementation on productivity of dual-purpose cows grazing in a silvopastoral system in the tropics. *Tropical animal*

- Health and Production. 44: 1073-1078. DOI: 10.1007/s11250-011-0042-8
- Toral, P.O.C., Iglesias, G.J.M. 2008. Selectividad de especies arbóreas potencialmente útiles para sistemas de producción ganaderos. *Zootecnia Tropical*. 26: 197-200.
- Urbano, D., Dávila, C., Moreno, P. 2006. Efecto de las leguminosas arbóreas y la suplementación con concentrado sobre la producción de leche y cambio de peso en vacas doble propósito. *Zootecnia Tropical*. 24: 69-83.
- Valarini, M., Posenti, R. 2006. Research note: nutritive value of a range of tropical forage legumes. *Tropical Grassland*. 40: 183-167.
- Valarezo, J., Ochoa, D. 2014. Rendimiento y valoración nutritiva de especies forrajeras arbustivas establecidas en bancos de proteína, en el sur de la Amazonía ecuatoriana. *Revista CEDAMAZ*, 113-124. URL: http://unl.edu.ec/sites/default/files/investigacion/revista_s2014-9-4/articulo_9_-_113_-_124.pdf. Acceso diciembre 2017.
- Vélez-Teranova, M., Campos-Gaona, R., Sánchez-Guerrero, H. 2014. Uso de metabolitos secundarios de las plantas para reducir la metanogénesis ruminal. *Tropical and Subtropical Agroecosystem*. 17: 489-499.
- Verdecia, A.D.M., Herrera, G.R.S., Ramírez, de la R.J.L., Acosta, I.L., Bodas, R.R., Lorente, S.A., Giráldez, G.F.J., González, A.J.S., Arceo, B.Y., Bazán, O.Y., Álvarez, B.Y., López, P.S. 2014. Caracterización bromatológica de seis especies forrajeras en el Valle del Cauto, Cuba. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 18: 75-90.
- Verdecia, D.M., Herrera, H., Ramírez, J.L., Leonard, I., Álvarez, Y., Bazán, Y., Arceo, Y., Bodas, R., Andrés, S., Álvarez, J., Giráldez, F., López, S. 2012. Valor nutritivo de *Leucaena leucocephala*, con énfasis en el contenido de metabolitos secundarios. *Revista Electrónica de Veterinaria*. 13: 1-10.
- Vergara, L.J., Rodríguez, P.A., Navarro, C., Atencio, A. 2006. Efecto de la suplementación con leucaena (*Leucaena leucocephala* Lam. de Wit) sobre la degradabilidad ruminal del pasto alemán (*Echinochla polystachya* H.B.K. Hitch). *Revista Científica, FCV-LUZ*. 16: 642-647.
- Vieyra-Alberto, R., Domínguez-Vara, I.A., Olmos-Oropeza, G., Martínez-Montoya, J.F., Borquez-Gastelum, J.L., Palacio-Nuñez, J., Lugo, J.A., Morales-Almaráz, E. 2013. Perfil e interrelación mineral en agua, forraje y suero sanguíneo de bovinos durante dos épocas en la huasteca potosina, México. *Agrociencia*. 47: 121-133.
- Vivas, M.E.F., Rosado, R.G., Castellanos, R.A., Heredia, A.M., Cabrera, T.E. 2011. Contenido mineral de forrajes en predios de ovinocultores del estado de Yucatán. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 2: 465-475.
- von Son-de Fernex, E., Alonso-Díaz, M.A., Mendoza-de Gives, P., Valles-de la Mora, B., González-Cortazar, M., Zamilpa, A., Gallegos, E.C. 2015. Elucidation of *Leucaena leucocephala* anthelmintic-like phytochemicals and the ultrastructural damage generated to eggs of *Cooperia spp.* *Veterinary Parasitology*. 214: 89-95. DOI: 10.1016/j.vetpar.2015.10.005
- Wright, A.D.G., Auckland, C.H., Lynn, D.H. 2007. Molecular diversity of methanogens in feedlot cattle from Ontario and Prince Edward Island, Canada. *Applied Environmental Microbiology*. 73:4206-4210. doi:10.1128/AEM.00103-07.
- Zaky, Z.M., Badruddin, A.F., Abdallah, Z.M., Ho, W.S., Pang, S.L. 2014. The reduction of mimosine content in *Leucaena leucocephala* (petai belalang) leaves using ethyl methanesulphonate (EMS). *Archives of Applied Science Research*. 6: 124-128.
- Zapata, B.G., Bautista, Z.F., Astier, C.M. 2009. Caracterización forrajera de un sistema silvopastoril de vegetación secundaria con base en la aptitud de suelo. *Técnica Pecuaria en México*. 47: 257-270.
- Zárate, P.S. 1994. Revisión del género *Leucaena* en México, *Inst. Biol. Univ. Auton. México, Ser. Bot.* 65: 83-162.
- Zarate, P.S. 1999. Ethnobotany and domestication process of *Leucaena* in Mexico. *Journal of Ethnobiology*. 19: 1-26.
- Zhou J. R., Erdman J. W. Jr. 1995. Phytic acid in health and disease. *C. R. C. Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 35:495-508