



PRODUCCIÓN Y CALIDAD FORRAJERA DE *Cynodon plectostachyus* BAJO SISTEMA SILVOPASTORIL CON *Leucaena leucocephala* †

[PRODUCTION AND FORAGE QUALITY OF *Cynodon plectostachyus* IN SILVOPASTORAL SYSTEMS WITH *Leucaena leucocephala*]

Azucena del R. Alvarado-Canché¹, Jorge R. Canul-Solis^{1*}, Luis E. Castillo-Sánchez¹, María J. Campos-Navarrete¹, Ermilo H. López-Cobá¹, Armín A. Luna-Mendicuti¹, Nery M. Ruiz-Febles¹, José A. Alayón-Gamboa², Fernando Casanova-Lugo³, Ángel T. Piñeiro-Vázquez⁴ and Alfonso J. Chay-Canul⁵

¹*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tizimín. División de Estudios de Posgrado e Investigación. Final Avenida Cupul S/N. Km. 2.5. C.P. 97700. Tizimín, Yucatán, México. Emails: azucena.alvarado@ittizimin.edu.mx, *jorge.canul@ittizimin.edu.mx, luis.castillo@ittizimin.edu.mx, maria.campos@ittizimin.edu.mx, ermilo.lopez@ittizimin.edu.mx, armin.luna@ittizimin.edu.mx, nery.febles@ittizimin.edu.mx*

²*Departamento de Conservación de la Biodiversidad. El Colegio de la Frontera Sur. Lerma Campeche. Avenida Rancho Polígono 2-A. C.P. 24500. Lerma Campeche, Campeche, México. Email: jalayon@ecosur.mx*

³*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de la Zona Maya. Carretera Chetumal-Escárcega Km. 21.5, Ejido Juan Sarabia. C.P. 77960. Othón P. Blanco, Quintana Roo, México. Email: jkzanov@gmail.com*

⁴*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Conkal, Av. Tecnológico S/N. C.P. 97345. Conkal, Yucatán, México. Email: angel.pineiro@itconkal.edu.mx*

⁵*División Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Carretera Vhsa-Teapa Km 25. C.P. 86290. Villahermosa, Tabasco, México. Email: aljuch@hotmail.com*

*Corresponding author

SUMMARY

Background. The productive variability of the forage is determined by the type of soil and the cultivation system. The use of silvopastoral systems represents an alternative because they can increase forage production and quality. **Objective.** To evaluate the production, the morphological components and the nutritional quality of the biomass of *Cynodon plectostachyus* (star grass) alone or in association with *Leucaena leucocephala* (huaxin). **Methodology.** The study was carried out in Tizimin, Yucatan, Mexico. Plots of *C. plectostachyus* were established in alleys cropping of *L. leucocephala* and in monoculture, in hyperskeletal Luvisols and Leptosols soils. A 2 X 2 factorial design with five repetitions per treatment was used. The biomass production, the forage components and the content of crude protein and neutral detergent fiber were evaluated for one year. **Results.** Forage production, leaf and forage quality did not change according to the cultivation system ($p \geq 0.05$). No effect is believed due to the type of soil ($p \geq 0.05$). The interaction of the cultivation system with the type of soil increased the NDF content of *C. plectostachyus* ($p \leq 0.05$). **Implications.** The association of *C. plectostachyus* and *L. leucocephala* could increase the availability of structural carbohydrates for ruminant nutrition. Likewise, it is essential to consider long-term evaluations that allow to know the improvements in the crude protein content and the biomass production of the grasses in association under silvopastoral systems. **Conclusions.** The association of *C. plectostachyus* with *L. leucocephala* in Leptosol soil increases the availability of structural carbohydrates by increasing the stem and dead tissue that can be incorporated as organic matter in the soil.

Keywords: ruminants; efficiency; star grass; forages; nutritional value; soil.

RESUMEN

Antecedentes. La variabilidad productiva del forraje está determinada por el tipo de suelo y el sistema de cultivo. El uso de sistemas silvopastoriles representa una alternativa porque pueden incrementar la producción y la calidad del forraje. **Objetivo.** Evaluar la producción, los componentes morfológicos y la calidad nutritiva de la biomasa de *Cynodon plectostachyus* (pasto estrella) sola o en asociación con *Leucaena leucocephala* (huaxin). **Metodología.** El

† Submitted July 2, 2021 – Accepted August 11, 2020. This work is licensed under a CC-BY 4.0 International License.
ISSN: 1870-0462.

estudio se llevó a cabo en Tizimín, Yucatán, México. Se establecieron parcelas de *C. plectostachyus* en callejones de *L. leucocephala* y en monocultivo, en suelos Luvisoles y Leptosoles hiperesqueléticos. Se utilizó un diseño factorial de 2 X 2 con cinco repeticiones por tratamiento. Se evaluó la producción de biomasa, los componentes forrajeros y el contenido de proteína cruda y fibra detergente neutro durante un año. **Resultados.** La producción de forraje, la hoja y la calidad forrajera no cambió según el sistema de cultivo ($p \geq 0.05$). No se observó ningún efecto por el tipo de suelo ($p \geq 0.05$). La interacción del sistema de cultivo con el tipo de suelo incrementó el contenido de FDN de *C. plectostachyus* ($P \leq 0.05$). **Implicaciones.** La asociación de *C. plectostachyus* y *L. leucocephala* podría incrementar la disponibilidad de carbohidratos estructurales para la nutrición de rumiantes. Asimismo, es indispensable considerar evaluaciones a largo plazo que permitan conocer las mejoras en el contenido proteína cruda y la producción de biomasa de las gramíneas en asociación bajo sistemas silvopastoriles. **Conclusiones.** La asociación de *C. plectostachyus* con *L. leucocephala* en suelo Leptosol aumenta la disponibilidad de carbohidratos estructurales por el aumento de tallo y tejido muerto susceptible de incorporarse como materia orgánica en el suelo.

Palabras clave: rumiantes; eficiencia; pasto estrella; forrajes; valor nutritivo; suelo.

INTRODUCCIÓN

La producción de rumiantes en regiones tropicales se ve afectada por la variabilidad de cantidad y calidad en la producción de forrajes (Ramos-Trejo *et al.*, 2019). La variabilidad productiva del forraje está determinada por temporada (Muñoz-González *et al.*, 2014), el tipo de suelo y el sistema de cultivo (López *et al.*, 2019). En este sentido, la intensificación de los sistemas productivos podría permitir una mayor productividad y la sostenibilidad (Canul-Solis *et al.*, 2018). Para el mejoramiento e intensificación de los sistemas de producción, el uso de sistemas silvopastoriles podría ser una alternativa importante porque pueden incrementar la producción animal, mejorar la fertilidad del suelo y la calidad del forraje (Jose *et al.*, 2017; Murgueitio *et al.*, 2013; Jose, 2009). Ante esta situación, varios autores han evaluado sistemas agroforestales o sistemas silvopastoriles intensivos (Canul-Solis *et al.*, 2018; Alvarado-Canché *et al.*, 2017; Barros *et al.*, 2012b) con el fin de caracterizar el potencial de incremento del forraje y calidad nutricional (Murgueitio *et al.*, 2013). Dentro de las gramíneas utilizadas en estos sistemas de producción se encuentra el pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*), el cual se ha utilizado como fuente de forraje para la alimentación de rumiantes en vastas regiones del mundo (Wu, 2011).

En el contexto de los sistemas silvopastoriles, Bacab y Solorio (2011) reportaron, en sistemas de producción ganadera de doble propósito, que el suministro de forrajes comestibles, tanto de la gramínea y la arbórea, en sistemas silvopastoriles (*Leucaena leucocephala* cv. *Cunningham* + *Panicum maximum* cv. *Tanzania*) y (*L. leucocephala* cv. *Cunningham* + *P. maximum* cv. *Tanzania* + *Mangifera indica*) generan rendimientos de 2.47 y 2.69 toneladas de materia seca por hectárea (t MS/ha), respectivamente en la región de Tepalcatepec, Michoacán como oferta para tres días de ocupación en el pastoreo de vacas Suizo Americano; en comparación con un monocultivo de *Cynodon plectostachyus* con 0.95 t MS/ha. Asimismo, Ramón-Castro *et al.*, (2015) en un estudio realizado en Chiapas, México, reportaron una producción de 0.73 t

MS/ha de *C. plectostachyus* bajo monocultivo cosechado a las cuatro semanas y en asociación (*C. plectostachyus* + *Dolichos lablab*) reportan 3.24 t MS/ha. También, Barros-Rodríguez *et al.* (2012b) en un sistema silvopastoril intensivo (*L. leucocephala* + *C. nlemfuensis* + *P. maximum*) con 35.000 plantas/ha y 55.000 plantas/ha, reportan rendimientos de 3.74 y 3.05 t de MS/ha, respectivamente; esto demuestra aumento de la calidad y cantidad de forrajes producidos en las condiciones de cultivo asociadas en tecnologías de sistemas silvopastoriles.

Por otro lado, para implementar exitosamente sistemas silvopastoriles con especies adoptadas en la región es importante cuantificar la producción de forrajes y valor nutritivo bajo diferentes diseños de sistemas silvopastoriles en condición tropical. Ante estas condiciones, el objetivo del presente estudio fue determinar la producción y calidad de forraje de *C. plectostachyus* asociado a *L. leucocephala* en un sistema silvopastoril de cultivo en callejones en comparación al monocultivo de *C. plectostachyus* en regiones tropicales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

El experimento se realizó en el área de fomento productivo del Instituto Tecnológico de Tizimín, Yucatán, México, ubicada en los paralelos 21° 09' 29" de latitud norte y los meridianos 88° 10' 21" de longitud oeste a 20 msnm. El clima del sitio es cálido subhúmedo con lluvias en verano (Aw0), según la clasificación de Köppen, y presenta una precipitación promedio anual de 1167 mm con temperatura promedio anual de 27 °C, y humedad relativa de 68.5 a 86.3 % (García, 1973). El suelo predominante de esta zona es Litosol con una fertilidad media, de 1.5 a 1.9 % de carbono orgánico y un pH de 6.7 a 7.3, poco profundo con áreas rocosas y relativamente poco fértil (Bautista *et al.*, 2015). Las condiciones climáticas del área experimental durante el período de evaluación (marzo de 2017 a mayo de 2018) se presentan en la Figura 1.

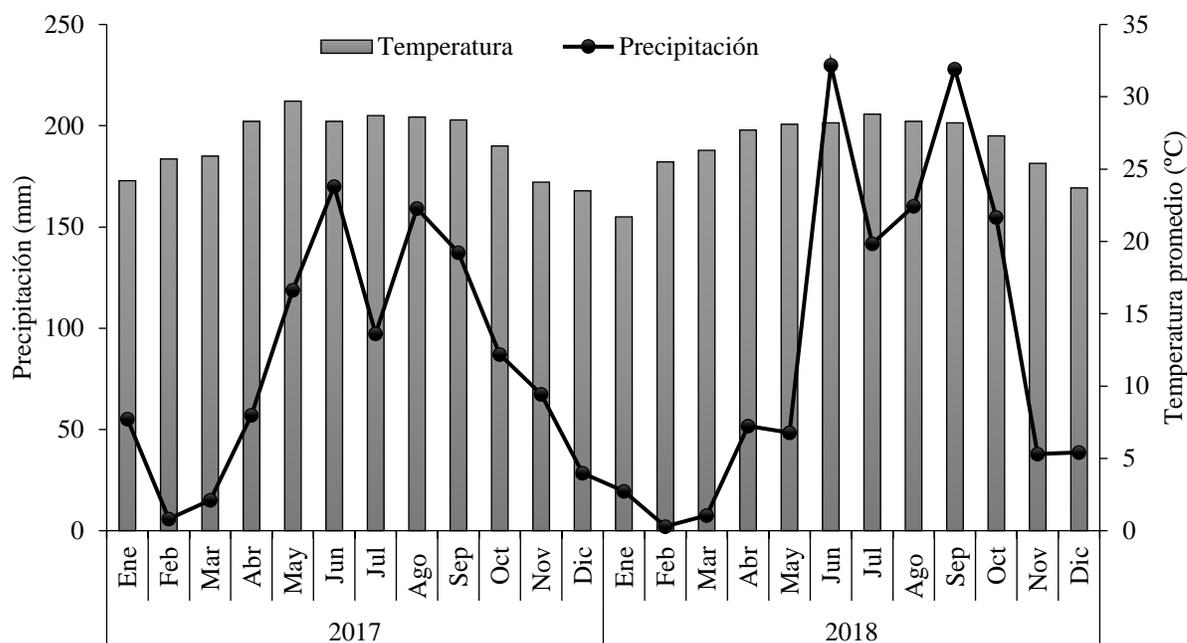


Figura 1. Precipitación y temperatura media en el área de estudio, de enero de 2017 a noviembre de 2018. Fuente: estación meteorológica del Instituto Tecnológico de Tizimín.

Establecimiento de sistema silvopastoril

El sistema silvopastoril se estableció en 2013 en suelo Luvisoles (k'an kab lu'um) y Leptosoles hiperesqueléticos (ch'ich lu'um) bajo el sistema de monocultivo y silvopastoril. *L. leucocephala* se estableció mediante plántulas germinadas en semillero en vivero, al alcanzar 15 cm de altura en semillero se trasplantaron a bolsas negras de 0.12 x 0.25 m. Cuando las plantas alcanzaron 0.50 m de altura fueron trasplantadas en el sistema silvopastoril a una distancia entre surco y planta de 3.0 y 0.5 m, respectivamente y *C. plectostachyus* se sembró en toda el área (Alvarado-Canché et al., 2017).

Manejo de parcelas experimentales

C. plectostachyus se evaluó en condiciones de monocultivo y sistema silvopastoril con *L. leucocephala*. Previo al inicio del periodo experimental se realizó un corte de uniformización en las parcelas experimentales, con el fin de evitar efectos residuales del manejo previo y reducir la heterogeneidad entre árboles. *L. leucocephala* fue cortado a 0.50 m de altura y *C. plectostachyus* se cortó entre 0 a 5 cm sobre el suelo. Al inicio del trabajo experimental *L. leucocephala* presentó una altura promedio de 1.72 m y 5 años de edad.

Diseño y manejo experimental

Se utilizó un diseño experimental factorial 2 X 2. Los factores evaluados fueron tipo de suelo (Luvisoles y Leptosoles hiperesqueléticos) y tipo de sistemas de cultivo (monocultivo y sistema silvopastoril) con cinco repeticiones por tratamiento, considerando cada parcela en el sistema silvopastoril como unidad experimental. Se utilizaron 20 parcelas (3 X 4 m) en cada sistema de cultivo. Cada parcela del sistema silvopastoril tenía ocho plantas de *L. leucocephala* en el centro de la unidad experimental y *C. plectostachyus* se encontró en toda el área. *C. plectostachyus* se evaluó en un cuadrante de 0.25 x 0.25 m (0.0625 m²) en el centro del área útil de la parcela experimental. Durante el estudio, las parcelas se manejaron bajo temporal con riego de auxilio y se limpiaron mediante deshierbe manual.

Rendimiento de forraje

Se cuantificó el rendimiento de forraje (t MS/ha) y porcentaje de componentes forrajeros [hoja (h), tallo (t) y tejido muerto (tm)] para *C. plectostachyus* en monocultivo y sistema silvopastoril. El rendimiento de forraje de *C. plectostachyus* (t MS/ha) se determinó a través del corte de la biomasa presente en el área útil de la parcela experimental. El corte de *C. plectostachyus* se realizó entre 0 y 5 centímetros de la altura del suelo. Los muestreos se realizaron cada 30 días en la época de lluvias y cada 42 días en la época

norte y seca. El forraje verde producto de cada muestreo se pesó, mezcló y se separó al azar dos submuestras de 100 g, una para determinar el rendimiento (t MS/ha) y otra para obtener los componentes forrajeros. Las submuestras se secaron por 48 h a 55 °C en estufa con circulación de aire forzado y posteriormente se pesaron para estimar el rendimiento de forraje (t MS/ha).

Análisis químico

Las submuestras de biomasa de *C. plectostachyus* en monocultivo y sistema silvopastoril se procesaron utilizando un molino eléctrico Thomas-Wiley con criba de 1.0 mm y posteriormente se analizaron para determinar el contenido proteína cruda (PC) por método de Kjeldahl (AOAC, 2016) y fibra detergente neutro (FDN) por el método de Van Soest *et al.* (1991).

Análisis estadístico

El rendimiento (t MS/ha) y la composición forrajera, expresada como porcentaje de hoja (h), tallo (t) y tejido muerto (tm); y contenido de PC y FDN se analizaron con modelos mixtos (Infostat ver. 2020), que incluyó el tratamiento como efecto fijo, y las parcelas de muestreo como efecto aleatorio y comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$). Se utilizó el siguiente modelo estadístico (Montgomery, 2013):

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad i = 1, \dots, a; j = 1, \dots, b; k = 1, \dots, n$$

Donde:

Y_{ijk} = observación k en el nivel i del factor A y el nivel j del factor B

μ = media general

A_i = el efecto del nivel i del factor A

B_j = el efecto del nivel j del factor B

$(AB)_{ij}$ = El efecto del nivel i del factor A con el nivel j del factor B

ε_{ijk} = error aleatorio con media 0 y varianza σ^2

a = número de niveles del factor A;

b = número de niveles del factor B;

n = número de observaciones para cada combinación de A x B.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El sistema de cultivo de *C. plectostachyus* (monocultivo vs sistema silvopastoril), independientemente al tipo de suelo, no afectó el rendimiento (1.303 y 1.331 t MS/ha), contenido de proteína cruda (94.000 y 112.400 kg/ha PC) y fibra detergente neutro (785.800 y 847.600 kg/ha FDN) del forraje ($p \geq 0.05$; Tabla 1). Bajo las condiciones del estudio, se observó una reducción del 26% de tallo en el forraje de *C. plectostachyus* bajo el SSP ($p \leq 0.05$; Tabla 1). El mayor porcentaje de tejido muerto en *C. plectostachyus* se observó en el SSP, mientras que la relación hoja: tallo no fue afectado por el sistema de cultivo ($p \leq 0.05$; Tabla 1).

Bajo la condición del presente estudio, la producción de forraje y los componentes del forraje (hoja y tallo) de *C. plectostachyus* no se vieron afectados; estos resultados pueden deberse al tipo de arreglo de *C. plectostachyus* de cultivo en callejones de *L. leucocephala*. Se han reportado resultados similares con la asociación de *L. leucocephala* y *C. nlemfuensis* (Ruiz *et al.*, 2010), ambos estudios sugirieron que el género *Cynodon* tolera la asociación con especies arbóreas que proyectan 30 y 40% de sombra (Paciullo *et al.*, 2014). De manera similar, este efecto también se ha informado con otras especies; en condiciones de sombra simulada del sistema silvopastoril con 30 a 50% de sombra en *Bothriochloa saccharoides*, se mantuvo su producción de forraje y buena relación hoja: tallo entre 3.3 a 2.7 (Piñeros *et al.*, 2011). Estas observaciones muestran un efecto positivo debido a que no se observaron cambios morfológicos en el pasto (Canul-Solis *et al.*, 2018). Similar a lo reportado cuando se midió el comportamiento del sistema silvopastoril conformado por *Gliricidia sepium* (2 m

Tabla 1. Efecto del sistema de cultivo sobre la producción, los componentes forrajeros y la calidad nutricional de *C. plectostachyus* en los trópicos.

SC	Rendimiento	Componentes forrajeros (%)			HT	Calidad nutricional (kg/ha)	
	t MS/ha	Hoja	Tallo	Tejido muerto		PC	FDN
MC	1.303 ^a	26.689 ^a	42.811 ^a	30.499 ^a	0.812 ^a	94.000 ^a	785.800 ^a
SSP	1.331 ^a	29.585 ^a	33.715 ^b	36.702 ^b	1.086 ^a	112.400 ^a	847.600 ^a
EEM	0.243	3.631	3.251	3.535	0.160	13.400	107.70

SC: Sistema de cultivo; MC: monocultivo; HT: Relación hoja: tallo; SSP: sistema silvopastoril; EEM: error estándar de la media; PC: proteína cruda; FDN: fibra detergente neutro.

^{ab} Medias con letras diferentes dentro de la misma columna son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$).

Tabla 2. Efecto del tipo de suelo sobre la producción forrajera, los componentes forrajeros y la calidad nutricional de *C. plectostachyus* en los trópicos.

TS	Rendimiento	Componentes forrajeros (%)			HT	Calidad Nutricional (kg/ha)	
	t MS/ha	Hoja	Tallo	Tejido muerto		PC	FDN
Leptosol	1.44 ^a	29.61 ^a	37.11 ^a	33.27 ^a	1.053 ^a	115.900 ^a	873.300 ^a
Luvisol	1.19 ^a	26.66 ^a	39.40 ^a	33.92 ^a	0.844 ^a	90.600 ^a	760.100 ^a
EEM	0.19	2.62	2.61	2.308	0.160	14.100	122.600

TS: tipo de suelo; HT: Relación hoja: tallo; EEM: error estándar de la medía; PC: proteína cruda; FDN; Fibra detergente neutro.

^{ab} Medias con letras diferentes dentro de la misma columna son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$).

entre hileras) y *Pennisetum purpureum* en los callejones conformado por las hileras, en este sistema se incrementó la producción de pasto (Yuhaeni *et al.*, 1997). Este tipo de interacciones pueden generar efectos positivos debido a que no hay cambios importantes en la disponibilidad de luz solar requerido por el pasto al asociarse con *L. leucocephala* (Paciullo *et al.*, 2007; Soares *et al.*, 2009; Rozados-Lorenzo *et al.*, 2007); sumado a esto, el manejo de la poda que se llevó a cabo en la arbórea redujo el efecto sombra (Bacab *et al.*, 2013). Sin embargo, otros autores mencionan que la producción de *Cynodon* podría verse limitada en condiciones de asociación (Obispo *et al.*, 2008; Santiago-Hernández *et al.*, 2016) debido al efecto de la competencia por nutrientes y luz (Moreno, 2008).

El tejido muerto en el sistema silvopastoril fue superior en comparación con el monocultivo. Estos resultados podrían deberse a los cambios morfológicos de las plantas que crecen en condiciones de asociación, lo que les permite adaptarse a las condiciones del sistema silvopastoril (Santiago-Hernández *et al.*, 2016). En condiciones similares, Obispo *et al.*, (2008) encontraron que el alto nivel de sombreado perjudica el rendimiento de *P. maximum*. En contraste, en condiciones de sistema agroforestal y de monocultivo, se observó que en ambos sistemas de cultivo la proporción de hoja y de tallo no se vio afectada (Canul-Solis *et al.*, 2018). Similarmente, Itzá-Kinil *et al.* (2018) tampoco observaron efectos sobre la producción de forrajes y los componentes forrajeros de *Brachiaria brizantha* en monocultivos y sistemas silvopastoriles en Yucatán, México. Sobre la calidad nutricional, se menciona que debido a las interacciones en la asociación gramíneas con arbóreas se puede mejorar la calidad de la biomasa forrajera de la gramínea (Santiago-Figueroa *et al.*, 2016). Sin embargo, en nuestro estudio como lo reportado por Obispo *et al.* (2008) no se encontraron cambios en el contenido de PC y FDN.

El rendimiento forrajero, los componentes forrajeros hoja y tallo, la relación hoja: tallo ($p > 0.05$; Tabla 2), el contenido de PC, FDN de *C. plectostachyus* fue similar ($p \geq 0.05$) en ambos tipos de suelo (Luvisoles y Leptosoles hiperesqueléticos).

La producción de forraje de *C. plectostachyus* bajo cultivo en callejón en luvisoles y leptosoles hiperesqueléticos se encontró entre 1.1 a 1.4 t MS/ha; ambos valores son inferiores a los reportados en suelos arenosos con *Cynodon dactylon* con un hábito de crecimiento similar a las especies del presente estudio (Castro-Rivera *et al.*, 2017). De manera similar, en Vertisoles en el estado de Veracruz en un sistema silvopastoril de *Megathyrsus maximus* y *G. sepium*, no se encontró efecto sobre el rendimiento de forrajes por efecto del tipo de suelo (Medinilla-Salinas *et al.*, 2013). En otras condiciones, la producción de biomasa de *C. dactylon* se evaluó a partir de suelos franco-arcillosos-arenosos en la India y se encontró que la producción de biomasa es baja en suelos degradados (Shukla *et al.*, 2011). Los resultados del presente estudio pueden estar relacionados con esta característica, debido a que el trabajo se realizó sobre suelos pedregosos con bajo contenido de materia orgánica; los resultados coinciden con lo reportado en el centro-norte de Yucatán en un sistema agroforestal de *Tithonia diversifolia*-*G. sepium*-*C. plectostachyus* (Canul-Solis *et al.*, 2018).

Los niveles de proteína cruda de *C. nlemfuensis* en ambos tipos de suelo fueron similares y pueden cubrir los requerimientos mínimos de proteína cruda para el buen funcionamiento del rumen de ovinos o bovinos en pastoreo (McDonald, 2010). Asimismo, el contenido de FDN se encuentra en los rangos reportados en otros trabajos donde se asocian leguminosas y gramíneas; en este sentido, en un estudio realizado sobre vertisoles y luvisoles, se reportan contenidos similares (8.8% de PC) en *C. nlemfuensis* (Santiago-Figueroa *et al.*, 2016). En otro estudio realizado en Filipinas donde se evaluó la

Tabla 3. Efecto de la interacción del sistema de cultivo y el tipo de suelo, sobre la producción forrajera, los componentes forrajeros y la calidad nutricional de *C. plectostachyus* en el trópico.

SC*TS	Rendimiento	Componentes forrajeros (%)			HT	Calidad Nutricional (kg/ha)	
	t MS/ha	Hoja	Tallo	Tejido muerto		PC	FDN
MCLep	1.46 ^a	27.44 ^a	41.96 ^a	30.59 ^a	0.76 ^a	103.1 ^a	558.4 ^a
SSPLep	1.42 ^a	31.77 ^a	32.27 ^a	35.95 ^a	1.34 ^a	128.6 ^a	643.0 ^b
MCLuv	1.14 ^a	25.93 ^a	43.65 ^a	30.40 ^a	0.85 ^a	84.9 ^a	635.4 ^b
SSPLuv	1.24 ^a	27.39 ^a	35.16 ^a	37.45 ^a	0.83 ^a	96.3 ^a	630.0 ^{ab}
EEM	0.363	5.413	4.847	5.270	0.298	0.700	227.4

MCLep= Monocultivo-leptosol; MCLuv= Monocultivo-luvisol; SSPLep= Sistema silvopastoril-leptosol; SSPLuv= Sistema silvopastoril-luvisol; TS: tipo de suelo; HT: Relación hoja: tallo; SSP: sistema silvopastoril; EEM: error estándar de la media; PC: Proteína cruda; FDN: Fibra detergente neutro; SC: Sistema de cultivo.

^{ab} Medias con letras diferentes dentro de la misma columna son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$).

calidad nutricional de *Brachiaria mutica* y *C. nlemfuensis* a lo largo del año, reportaron contenidos de 13 y 9% de PC y la FDN varió de 73 a 75%, para cada pasto respectivamente (Serra *et al.*, 1996); que es similar a la obtenida en *C. plectostachyus* en el presente estudio en monocultivo y en callejones con *L. leucocephala* en luvisoles y leptosoles hiperesqueléticos; esto es similar a lo reportado en una evaluación de la calidad del forraje en monocultivo de *C. dactylon* con valores de 7.6% y 76% de PC y FDN, respectivamente (Juárez-Reyes *et al.*, 2009); y en suelos vertisol en Veracruz, Medinilla-Salinas *et al.* (2013) no observaron cambios en el contenido de PC y FDN de la gramínea en un sistema silvopastoril de *G. sepium* asociado con *M. maximus*. Del mismo modo, Canul-Solis *et al.* (2018) no reportaron efecto del sistema de cultivo sobre el contenido de PC y FDN en *C. nlemfuensis*, al evaluar la asociación de *T. diversifolia*-*G. sepium*-*C. nlemfuensis* coincidiendo con lo reportado en sistemas silvopastoriles.

La interacción del sistema de cultivo (monocultivo y SSP) y el tipo de suelo (Luvisoles y Leptosoles hiperesqueléticos) no afectó el rendimiento de los componentes forrajeros y la relación hoja: tallo de *C. plectostachyus* ($p \geq 0.05$; Tabla 3), pero el contenido de proteína cruda del forraje aumentó en el sistema silvopastoril en ambos tipos de suelos evaluados; el contenido de FDN no se vio afectado por la interacción SC*TS.

La interacción de los factores de estudio no afectó la producción de biomasa, ni los componentes forrajeros de *C. plectostachyus*. Sin embargo, el contenido de FDN aumentó con el uso del sistema silvopastoril de cultivos en callejones con *L. leucocephala* en ambos tipos de suelo y en el monocultivo en suelo luvisol ($P \leq 0.05$; Cuadro 3). Este aumento en el contenido de

fibra en el *C. plectostachyus* puede estar relacionada al aumento de la producción de tallos observada y por un aumento en la cantidad de materia orgánica presente en el sistema en asociación por el aumento de residuos material muerto (Hombegowda *et al.*, 2020; Kaur, Gupta y Singh, 2002). A diferencia de lo que se ha reportado sobre una mejora en el contenido de proteína cruda de las gramíneas en los sistemas silvopastoriles (Paciullo *et al.*, 2016), en nuestro estudio no encontramos estos efectos. La edad del sistema silvopastoril pudo influir y reflejarse también en similar producción de forraje de *C. plectostachyus*, por lo que es indispensable considerar evaluaciones a largo plazo que permitan conocer las mejoras en el contenido de carbono orgánico en el suelo y consecuentemente la producción de biomasa de las gramíneas del sistema (Lee y Jose, 2003).

CONCLUSIONES

El establecimiento de *C. plectostachyus* en callejones de *L. leucocephala* en suelos leptosol y luvisol no afecta la producción de forraje y su calidad nutricional. Pero cuando se establece en asociación con *L. leucocephala* se incrementa la producción de tallos y material muerto que contribuyen a la mayor disponibilidad de carbohidratos estructurales en el forraje de la gramínea principalmente cuando el cultivo se realiza en el suelo leptosol.

Financiamiento. Agradecemos al Tecnológico Nacional de México (TecNM) por el financiamiento otorgado al proyecto 5883.16-P, para la ejecución de este estudio.

Conflicto de interés. Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Cumplimiento de normas éticas. Este trabajo no contempló el uso de humanos o animales en el proceso de investigación, por lo que no hubo necesidad de aprobación por parte del Comité de Investigación en Bioética del TecNM.

Disponibilidad de datos. Los datos están disponibles con el autor por correspondencia (jorge.canul@ittizimin.edu.mx), con previa solicitud.

REFERENCIAS

- AOAC., 2016. *Official Methods of Analysis of AOAC international*, (20th ed.). United States of America. The Association of Official Analytical Chemists International.
- Alvarado-Canché, A. R., Candelaria-Martínez, B., Castillo-Sánchez, L. E., Piñero-Vázquez, A. T and Canul-Solis, J. R., 2017. Production and feeding behavior of sheep in grazing under silvopastoral systems conformed for *Leucaena leucocephala* and *Cynodon plectostachyus*. *Revista Bio Ciencias*, 4(6), pp. 1-11. <http://dx.doi.org/10.15741/revbio.04.06.06>
- Bacab-Pérez, H. M. and 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(3), pp. 271-278.
- Bacab-Pérez, H. M., Madera, N. B., Solorio, F. J., Vera, F. and Marrufo, F. D., 2013. Los sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala*: una opción para la ganadería tropical. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 17(3), pp. 67-81.
- Bautista, F., Frausto, O., Ihl, T. and Aguilar, Y., 2015. Actualización del mapa de los suelos del estado de Yucatán en México: Enfoque geomorfopedológico y WRB. *Ecosistema y Recursos Agropecuarios*, 2(6), pp. 303-315.
- Barros-Rodríguez, M., Solorio-Sánchez, J., Ku-Vera, J., Ayala-Burgos, A., Sandoval-Castro, C. and Solís-Pérez, G., 2012a. Productive performance and urinary excretion of mimosine metabolites by hair sheep grazing in a silvopastoral system with high densities of *Leucaena leucocephala*. *Tropical Animal Health and Production*, 44(8), pp. 1873-1878. <https://doi.org/10.1007/s11250-012-0150-0>
- Barros-Rodríguez, M., Briceño-Poot, E., Canul-Solis, J. R., Sandoval-Castro, C., Solorio-Sánchez, J. and Ku-Vera, J. C., 2012b. Sistemas silvopastoriles con *Leucaena leucocephala* como alternativa en la producción ovina. *Bioagrociencias*, 5(2), pp. 21-25.
- Canul-Solis, J. R., Castillo-Sánchez, L. E., Escobedo-Mex, J. G., López-Herrera, M. A. and Lara y Lara, P. E., 2018. Rendimiento y calidad forrajera de *Gliricidia sepium*, *Tithonia diversifolia* y *Cynodon nlemfuensis* en monocultivo y sistema agroforestal. *Agrociencia*, 52(6), pp. 853-862.
- Castro-Rivera, R., Aguilar-Benítez, G. and Solís-Oba, M., 2017. Acumulación de biomasa y respuesta a la frecuencia de defoliación del pasto bermuda (*Cynodon dactylon* L.). *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 4(2), pp. 138-151.
- García, E., 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. (Segunda edición). México. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
- Hombegowda, H. C., Köhler, M., Röhl, A. and Hölscher, D., 2020. Tree species and size influence soil water partitioning in coffee agroforestry. *Agroforestry Systems*, 94, pp. 137-149. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00375-7>
- Itzá-Kinil, W., Kumul-Chimal, F., Couoh-Puc, A. J., Luna-Mendicuti, A. A., Pineda-Doportto, A., Castillo-Sánchez, L. E., Alvarado-Canché, A del R., Campos-Navarrete, M. J., Chay-Canul, A. J., Piñero-Vázquez, A. T. and Canul-Solis, J. R., 2019. Producción forrajera de *Brachiaria brizantha* bajo Monocultivo y Sistema Silvopastoril. En: Cetzal-Ix, W., Casanova-Lugo, F., Chay-Canul, A.J. and Martínez-Puc, J.F. eds. *Agroecosistemas tropicales: conservación de recursos naturales y seguridad alimentaria*. Chiná, Campeche, México. Tecnológico Nacional de México. pp. 422-426.
- Jose, S., Walter, D. and Mohan, K., 2017. Ecological considerations in sustainable silvopasture design and management. *Agroforestry Systems*, 93(1), pp. 317-331. <https://doi.org/10.1007/s10457-016-0065-2>
- Jose, S., 2009. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: An overview. *Agroforestry Systems*, 76, pp. 1-10. <https://doi.org/10.1007/s10457-009-9229-7>
- Juárez-Reyes, A. S., Cerrillo-Soto, M. A., Gutiérrez-Ornelas, E., Romero-Treviño, E. M., Colín-Negrete, J. and Bernal-Barragán, H., 2009. Estimación del valor nutricional de pastos tropicales a partir de análisis convencionales

- y de la producción de gas *in vitro*. *Técnica Pecuaria en México*, 47(1), pp. 55–67.
- Kaur, B., Gupta, S. R. and Singh, G., 2002. Carbon storage and nitrogen cycling in silvopastoral systems on a sodic soil in northwestern India. *Agroforestry Systems*, 54, pp. 21–92. <https://doi.org/10.1023/A:1014269221934>
- Lee, K.H. and Jose, S., 2003. Soil respiration and microbial biomass in a pecan - Cotton alley cropping system in southern USA. *Agroforestry Systems*, 58, pp. 45–54. <https://doi.org/10.1023/A:1025404019211>
- López, O., López, L., Sánchez, T., Olivera, Y., García, R., Herrera, M. and González, M., 2019. Evaluación del valor nutricional de los forrajes en un sistema silvopastoril. *Pastos y Forrajes*, 42(1), pp. 57–67.
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F., Morgan, C. A., Sinclair, L. A. and Wilkinson, R. G., 2010. *Animal nutrition.*, (Seventh Ed.). Prentice Hall, UK. Pearson.
- Medinilla-Salinas, L., Vargas-Mendoza, M., López-Ortiz, S., Ávila-Reséndiz, C., Campbell, W. and Gutiérrez-Castorena, M., 2013. Growth, productivity and quality of *Megathyrus maximus* under cover from *Gliricidia sepium*. *Agroforestry Systems*, 87, pp. 891–899. <https://doi.org/10.1007/s10457-013-9605-1>
- Moreno, G., 2008. Response of understory forage to multiple tree effects in Iberian dehesas. *Agricultural Ecosystem Environment*, 123, pp. 239–244. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.04.006>
- Montgomery, D. C., 2013. *Design and analysis of experiments* (8th ed). New Jersey: Willey & Sons.
- Murgueitio, E., Chará, J. D., Solarte, A. J., Uribe, F., Zapata, C. and Rivera, J. E., 2013. Agroforestería Pecuaria y Sistemas Silvopastoriles Intensivos (SSPi) para la adaptación ganadera al cambio climático con sostenibilidad. *Revista colombiana de ciencias pecuarias*, 26, pp. 313–316.
- Muñoz-González, J. C., Huerta-Bravo, M., Rangel-Santos, R., Lara-Bueno, A. and De la Rosa-Arana, J. L., 2014. Mineral assessment of forage in mexican humid tropics. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17, pp. 285–287.
- Obispo, N. E., Espinoza, Y., Gil, J. L., Ovalles, F. and Rodríguez, M. F., 2008. Efecto del sombreado sobre la producción y calidad del pasto guinea *Panicum maximum* en un sistema silvopastoril. *Zootecnia Tropical*, 26, pp. 285–288.
- Paciullo, D. S. C., Carvalho, C. A. B., Aroeira, L. J. M., Morenz, M. J. F., Lopez, F. C. F. and Rossiello, R. O. P., 2007. Morfofisiología e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 42(4), pp. 573–579.
- Paciullo, D. S. C., Pires, M. F. A., Aroeira, L. J. M., Morenz, M. J. F., Maurício, R. M., Gomide, C. A. M. and Silveira, S. R., 2014. Sward characteristics and performance of dairy cows in organic grass-legume pastures shaded by tropical trees. *Animal*, 8(8), pp. 1264–1271. <https://doi.org/10.1017/S1751731114000767>
- Paciullo, D. S. C., Gomide, C. A. M., Castro, C. R. T., Maurício, R. M., Fernandes, P. B. and Morenz, M. J. F., 2016. Morphogenesis, biomass and nutritive value of *Panicum maximum* under different shade levels and fertilizer nitrogen rates. *Grass and Forage Science*, 72(3), pp. 590–600. <https://doi.org/10.1111/gfs.12264>
- Piñeros, R., Delgado, J. M. and Holguín, V. A., 2011. Respuesta del pasto *Bothriochloa saccharoides* ([Sw.] Rydb.) a diferentes intensidades de sombra simulada en el valle cálido del Magdalena en el Tolima Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 12(1), pp. 42–50. https://doi.org/10.21930/rcta.vol12_num1_art:214
- Ramos-Trejo, O. S., Canul-Solís, J. R., Alvarado-Canché, A. del R., Castillo-Sánchez, L. E., Sandoval-Gío, J. J., Campos-Navarrete, M. J., Piñeiro-Vázquez, A. T., Chay-Canul, A. J. and Casanova-Lugo, F., 2019. Growth, forage yield and quality of *Morus alba* L. and *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp. in mixed and pure fodder bank systems in Yucatan, México. *Agroforestry Systems*, 94(1), pp. 151–157. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00378-4>.
- Ramón-Castro, M. A., García-Castillo, C. G. and Aguirre-Medina, J. F., 2015. Productividad de *Cynodon plectostachyus* K. (Schum) Pilger y *Dolichos lablab* L. solos y asociados bajo diferentes frecuencias de corte. *Agroproductividad*, 8(2), pp. 65–70.
- Rozados-Lorenzo, M. J., González-Hernández, M. P. and Silva-Pando, F. J., 2007. Pasture production under different tree species and densities in an Atlantic silvopastoral system.

- Agroforestry Systems*, 70(1), pp. 53–62.
<https://doi.org/10.1007/s10457-007-9032-2>.
- Ruiz, T. E., Febles, G., Jordan, H. and Díaz, H., 2010. El árbol y su efecto en la estabilidad productiva del pasto en un sistema silvopastoril. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas*, 44(3), pp. 297–300.
- Santiago-Hernández, F., López-Ortiz, S., Ávila-Reséndiz, C., Jarillo-Rodríguez, J., Pérez-Hernández, P. and Guerrero-Rodríguez, J. D., 2016. Physiological and production responses of four grasses from the genera *Urochloa* and *Megathyrsus* to shade from *Melia azedarach* L. *Agroforestry Systems*, 90(2), pp. 339–349.
<https://doi.org/10.1007/s10457-015-9858-y>
- Santiago-Figueroa, I., Lara-Bueno, A., Miranda-Romero, L. A., Huerta-Bravo, M., Krishnamurthy, L. and Muñoz-González, J. C., 2016. Composición química y mineral de *Leucaena* asociada con pasto estrella durante la estación de lluvias. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 16, pp. 3173-3183.
- Serra, A. B., Serra, S. D., Fujihara, M., Orden, E. A., Cruz, L. C., Ichinohe, T. and Fujihara, T., 1996. Monthly nutrient variation of paragrass (*Brachiaria mutica*) and stargrass (*Cynodon plectostachyus*) collected from pastures grazed by goats. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, 9(2), pp. 203–210.
<https://doi.org/10.5713/ajas.1996.203>
- Shukla, S. K., Singh, K., Singh, B. and Gautam, N. N., 2011. Biomass productivity and nutrient availability of *Cynodon dactylon* (L.) Pers. growing on soils of different sodicity stress. *Biomass and Bioenergy*, 35(8), pp. 3440–3447.
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.04.027>
- Soares, A. B., Sartor, L. R., Adami, P. F., Varella, A. C. and Mezzalana, J. C., 2009. Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies forrageiras perene de verão. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(3), pp. 443-451.
<https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000300007>
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B. and Lewis, B. A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), pp. 3583-3597.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Yuhaeni, S., Suratmini, N. P., Purwantari, N. D., Manurung, T. and Sutedi, D. E., 1997. Pertamanan lorong (Alley Cropping) leguminosa dengan rumput pakan ternak: pengaruh jenis rumput dan jarak larikan glirisidia terhadap pertumbuhan dan produksi hijauan pakan. *Jurnal Ilmu Ternak dan Veteriner*, 1(4), pp. 242–249.
- Wu, Y., 2011. *Cynodon*. In: Kole C. (eds) *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources*, First Edition. Springer, Berlin, Heidelberg, pp 53–71.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-14255-0_4