

# RENDIMIENTO Y CALIDAD FORRAJERA DE *Gliricidia sepium*, *Tithonia diversifolia* Y *Cynodon nlemfuensis* EN MONOCULTIVO Y SISTEMA AGROFORESTAL

## FORAGE YIELD AND QUALITY OF *Gliricidia sepium*, *Tithonia diversifolia* AND *Cynodon nlemfuensis* IN MONOCULTURE AND AGROFORESTRY SYSTEMS

Jorge R. Canul-Solis<sup>1</sup>, Luis E. Castillo-Sánchez<sup>1</sup>, José G. Escobedo-Mex<sup>2</sup>, María A. López Herrera<sup>3</sup>, Pedro E. Lara y Lara<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico de Tizimín, Yucatán. Departamento de Posgrado e Investigación; Avenida Cupules km 2.5, Tizimín Yucatán, México. (jcanul31@gmail.com). <sup>2</sup>Instituto Tecnológico de Conkal, Unidad de Posgrado km 16.3 Carretera Mérida-Motul, Conkal, Yucatán. México. <sup>3</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, km 25 Carretera Mérida-Motul, Mocochoá, Yucatán.

### RESUMEN

Los sistemas ganaderos intensivos permiten alcanzar mayor productividad, competitividad y sostenibilidad. El uso de sistemas agroforestales (SAF) facilitaría el logro de dichos sistemas, pero no hay información científica acerca del comportamiento de *Cynodon nlemfuensis*, *Tithonia diversifolia* y *Gliricidia sepium* bajo las condiciones de SAF. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el rendimiento y la calidad forrajera de *C. nlemfuensis*, *T. diversifolia* y *G. sepium* en monocultivo y en SAF. El diseño experimental fue completamente al azar y los tratamientos fueron: *C. nlemfuensis* (MCn), *T. diversifolia* (MTd) y *G. sepium* (MGs) en monocultivo con seis repeticiones y SAF conformado por las mismas especies con cinco repeticiones. Las variables fueron rendimiento de forraje, relación hoja: tallo, contenido de proteína cruda (PC) y fibra detergente neutra (FDN). El SAF tuvo el mayor rendimiento global de forraje (11.8 Mg MS ha<sup>-1</sup>) respecto a MCn, MTd y MGs (8.4, 2.7 y 2.1 Mg MS ha<sup>-1</sup>, respectivamente). Al comparar entre sistemas, el MCn fue mayor a SACn, SATd fue mayor a MTd, mientras que MGs fue similar a SAGs. La composición del forraje (proporción de hoja y tallo) y el contenido de PC y FDN no varío entre sistemas del cultivo. El uso del SAF incrementa la producción forrajera total, sin afectar la composición del forraje y la calidad nutritiva de la gramínea.

**Palabras clave:** gramínea, proteína cruda, arbórea.

### ABSTRACT

Intensive livestock systems allow reaching higher productivity, competitiveness and sustainability. The use of agroforestry systems (AFS) would ease the attainment of those systems, although there is no scientific information regarding the behavior of *Cynodon nlemfuensis*, *Tithonia diversifolia* and *Gliricidia sepium* under AFS conditions. Therefore, the objective of this study was to evaluate the forage yield and quality of *C. nlemfuensis*, *T. diversifolia* and *G. sepium* in monoculture and in AFS. The experimental design was completely random and the treatments were: *C. nlemfuensis* (MCn), *T. diversifolia* (MTd) and *G. sepium* (MGs) in monoculture with six repetitions and AFS made up of the same species with five repetitions. The variables were forage yield, leaf:stalk rate, crude protein (CP) and neutral detergent fiber (NDF) content. AFS had the highest global forage yield (11.8 Mg DM ha<sup>-1</sup>) compared to MCn, MTd and MGs (8.4, 2.7 and 2.1 Mg DM ha<sup>-1</sup>, respectively). When comparing between systems, the MCn was higher than SACn, SATd was higher than MTd, whereas MGs was similar to SAGs. The forage composition (proportion of leaf and stalk) and the CP and NDF content did not vary between cultivation systems. The use of AFS increases the total forage production, without affecting the forage composition and nutritional quality of the grass.

**Key words:** grass, crude protein, tree species.

### INTRODUCTION

The low profitability of production systems in tropical regions is due, in part, to livestock activities that depend on the use of grasses as the main source for animal diets (Ku-Vera *et*

\* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: mayo, 2017. Aprobado: febrero, 2018.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 52: 853-862. 2018.

## INTRODUCCIÓN

La rentabilidad baja de los sistemas de producción en las regiones tropicales se debe, en parte, a que las actividades ganaderas dependen del uso de gramíneas como fuente principal para la alimentación animal (Ku-Vera *et al.*, 2013). Las gramíneas bajo condiciones de monocultivo presentan bajo contenido de proteína digestible y altos niveles de fibra todo el año (Carmona, 2007). La asociación de árboles, arbustos y gramíneas forrajeras permite mejorar la calidad de la dieta del ganado, incrementa la productividad de los sistemas agropecuarios, permite ahorro en el uso de fertilizantes nitrogenados y mantiene la proporción de los componentes botánicos en espacio y tiempo (Merchant y Solano, 2016).

La producción de forraje de *Cynodon nlemfuensis* en monocultivo puede alcanzar hasta 26.9 Mg MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Villalobos y Arce, 2013) y cuando se cultiva en asociación con *Leucaena leucocephala* puede producir 18.5 Mg MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Palma, 2005). En asociación de gramíneas con árboles aumenta la disponibilidad de forraje por efecto de incremento de nitrógeno en el suelo debajo de los árboles (Maya *et al.*, 2005).

Estas diferencias son relevantes porque aumenta el interés por convertir los sistemas ganaderos en sistemas más intensivos, que permitan productividad, competitividad y sostenibilidad mayores. Los sistemas silvopastoriles son una buena opción para lograr una ganadería sostenible y se caracterizan por altas densidades de árboles forrajeros (más de 10 000 plantas ha<sup>-1</sup>) y pastos asociados (Barros-Rodríguez *et al.*, 2012; Gaviria-Uribe *et al.*, 2015). Además, las plantas que crecen bajo sombra sufren cambios morfológicos como mecanismo de la adaptación al sistema (Sousa *et al.*, 2010, 2012; Santiago-Hernández *et al.*, 2016). Bajo estas condiciones Obispo *et al.* (2008) encontraron que el nivel alto de sombreado tiene un efecto negativo el rendimiento de *Panicum maximum*.

El arbusto forrajero *Tithonia diversifolia* presenta crecimiento acelerado, producción de hojas abundante (Pérez *et al.*, 2009), follaje con 18.52 a 24.13 % de CP, 32.94 a 38.62 % de FDN y 10.33 a 34.48 % de FDA (Nieves *et al.*, 2011; Gallego-Castro *et al.*, 2014). En monocultivo se ha obtenido 23.48, 17.66 y 21.8 Mg MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Gallego-Castro *et al.*, 2014).

*al.*, 2013). Grasses under conditions of monoculture present a low content of digestible protein and high levels of fiber throughout the year (Carmona, 2007). The association of trees, shrubs and forage grasses allows improving the quality of the livestock diet, increases the productivity of agricultural/livestock systems, allows savings in the use of nitrogenous fertilizers, and maintains the proportion of botanical components in space in time (Merchant and Solano, 2016).

Forage production of *Cynodon nlemfuensis* in monoculture can reach up to 26.9 Mg DM ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> (Villalobos and Arce, 2013), and when it is cultivated in association with *Leucaena leucocephala* it can produce 18.5 Mg DM ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> (Palma, 2005). In association of grasses with trees, the availability of forage increases resulting from more nitrogen in the soil under the trees (Maya *et al.*, 2005).

These differences are relevant due to the interest for converting livestock systems into more intensive systems, which allow higher productivity, competitiveness and sustainability, increases. Silvopastoral systems are a good option to achieve sustainable livestock production and are characterized by high densities of forage trees (more than 10 000 plants ha<sup>-1</sup>) and associated grasses (Barros-Rodríguez *et al.*, 2012; Gaviria-Uribe *et al.*, 2015). In addition, the plants that grow under shade suffer morphological changes as mechanism of adaptation to the system (Sousa *et al.*, 2010, 2012; Santiago-Hernández *et al.*, 2016). Under these conditions, Obispo *et al.* (2008) found that the high level of shade has a negative effect on yield of *Panicum maximum* biomass.

The forage shrub *Tithonia diversifolia* presents accelerated growth, abundant leaf production (Pérez *et al.*, 2009), foliage with 18.52 to 24.13 % of CP, 32.94 to 38.62 % of NDF and 10.33 to 34.48 % of ADF (Nieves *et al.*, 2011; Gallego-Castro *et al.*, 2014). In monoculture, 23.48, 17.66 and 21.8 Mg DM ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> were obtained (Gallego-Castro *et al.*, 2014).

The *Gliricidia sepium* foliage contains 24.11 % of CP and 38.81 % of NDF (da Costa *et al.*, 2009); it is used as food during the dry period and can substitute concentrate as supplement for livestock food (Carmona, 2007). In Yucatán, with *G. sepium* in monoculture and cutting at 45, 60 and 75 d, 2.43, 3.5 and 2.26 Mg DM ha<sup>-1</sup> were obtained (Ramos *et al.*, 2016).

El follaje de *Gliricidia sepium* contiene 24.11 % de PC y 38.81 % de FDN (da Costa *et al.*, 2009); se utiliza como alimento en el periodo seco y puede sustituir el concentrado como suplemento de alimentación pecuaria (Carmona, 2007). En Yucatán, con *G. sepium* en monocultivo y corte a los 45, 60 y 75 d se obtuvieron 2.43, 3.5 y 2.26 Mg MS ha<sup>-1</sup> (Ramos *et al.*, 2016).

Para las especies mencionadas se conoce el comportamiento productivo en monocultivo, pero no hay información con sistema agroforestal (SAF). El objetivo de este estudio fue determinar la producción forrajera, el porcentaje de los componentes forrajeros y la calidad nutritiva de la biomasa de *C. nlemfuensis*, *T. diversifolia* y *G. sepium* en monocultivo y en sistema agroforestal en Yucatán, México. La hipótesis fue que la asociación de las especies forrajeras con diferente hábito de crecimiento, *C. nlemfuensis*, *T. diversifolia* y *G. sepium*, aumenta la disponibilidad de forraje, modifica el porcentaje de los componentes forrajeros y la calidad de la biomasa comestible en el sistema a través del año.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó durante un año, en el Instituto Tecnológico de Conkal, Yucatán, México (20° 05' N y 89° 32' O). El clima de la región es cálido subhúmedo con lluvias en verano (Aw<sub>0</sub>), con temperatura media anual de 25 °C, y precipitación total anual de 900 mm y 9 msnm (INEGI, 2009). Las condiciones climáticas durante el periodo de evaluación, enero de 2005 a mayo de 2006, se registraron (Figura 1). Los suelos predominantes son litosoles con pH 7 a 8 (Bautista *et al.*, 2015). El diseño fue completamente al azar desbalanceado con seis repeticiones en cada monocultivo y cinco para SAF; los tratamientos fueron: *C. nlemfuensis* (MCn), *T. diversifolia* (MTd) y *G. sepium* (MGs) en monocultivo, y un SAF en el cual se asociaron las tres especies.

Las parcelas experimentales fueron 23, seis para cada monocultivo y cinco para SAF, establecidas en suelo litosol. Las parcelas de *C. nlemfuensis* (MCn) en monocultivo fueron de 16.0 m<sup>2</sup>, divididas en cuatro subparcelas de 4.0 m<sup>2</sup> con área útil de 1.0 m<sup>2</sup> en cada una; el monocultivo de *T. diversifolia* (MTd) se estableció en un patrón de siembra de 1.0×1.0 m con 6.25 m<sup>2</sup> de área útil por parcela (10 000 plantas por ha), y se evaluaron seis plantas por parcela del surco central. Las unidades experimentales de monocultivo de *G. sepium* (MGs) se establecieron con densidad de siembra de 1.0×1.0 m entre plantas y surcos (parcelas 15 m<sup>2</sup> con 24 plantas por parcela y área útil de 6.0 m<sup>2</sup> con seis plantas); tres plantas al azar se evaluaron y el rendimiento por ha se calculó

The productive behavior in monoculture for the species mentioned is known, although there is no information in agroforestry system (AFS). The objective of this study was to determine the forage production, the percentage of forage components, and the nutritional quality of *C. nlemfuensis*, *T. diversifolia* and *G. sepium* biomass in monoculture and agroforestry system, in Yucatán, Mexico. The hypothesis was that the association of forage species with different growth habit, *C. nlemfuensis*, *T. diversifolia* and *G. sepium*, increases the availability of forage, modifies the percentage of forage components and the quality of the edible biomass in the system throughout the year.

## MATERIALS AND METHODS

The study was performed over a year, in the Technological Institute of Conkal, Yucatán, Mexico (20° 05' N and 89° 32' W). The climate of the region is warm sub-humid with summer rains (Aw<sub>0</sub>), with mean annual temperature of 26.5 °C, and total annual precipitation of 900 mm and 9 masl (INEGI, 2009). The climate conditions during the evaluation period, January 2005 to May 2006, were recorded (Figure 1). The predominant soils are lithosols with pH 7 to 8 (Bautista *et al.*, 2015). The design was completely random unbalanced with six repetitions in each monoculture and five for AFS; the treatments were: *C. nlemfuensis* (MCn), *T. diversifolia* (MTd) and *G. sepium* (MGs) in monoculture, and AFS in which the three species were associated.

There were 23 experimental plots, six for each monoculture and five for AFS, established on lithosol soil. The *C. nlemfuensis* (MCn) plots in monoculture were 16.0 m<sup>2</sup>, divided into four sub-plots of 4.0 m<sup>2</sup> with a useful area of 1.0 m<sup>2</sup> in each; the monoculture of *T. diversifolia* (MTd) was established in a sowing pattern of 1.0×1.0 m with 6.25 m<sup>2</sup> of useful area per plot (10 000 plants per ha), and six plants per plot from the central furrow were evaluated. The experimental units of *G. sepium* (MGs) monoculture were established with sowing density of 1.0×1.0 m between plants and furrows (15 m<sup>2</sup> plots with 24 plants per plot and useful area of 6.0 m<sup>2</sup> with six plants); three plants were evaluated randomly and the yield per ha was calculated based on the sowing density. Five plots of 90 m<sup>2</sup> were established with AFS in a pasture of *C. nlemfuensis*; each plot had 15 plants of *G. sepium*, with sowing density of 3.0×2.0 m between furrows and plants, 18 plants of *T. diversifolia* interspersed between the lines of *G. sepium* at 3.0×1.0 m, and *C. nlemfuensis* was present in the whole area. The plants evaluated were three of *G. sepium* and 12 of *T. diversifolia* and *C. nlemfuensis* from the useful

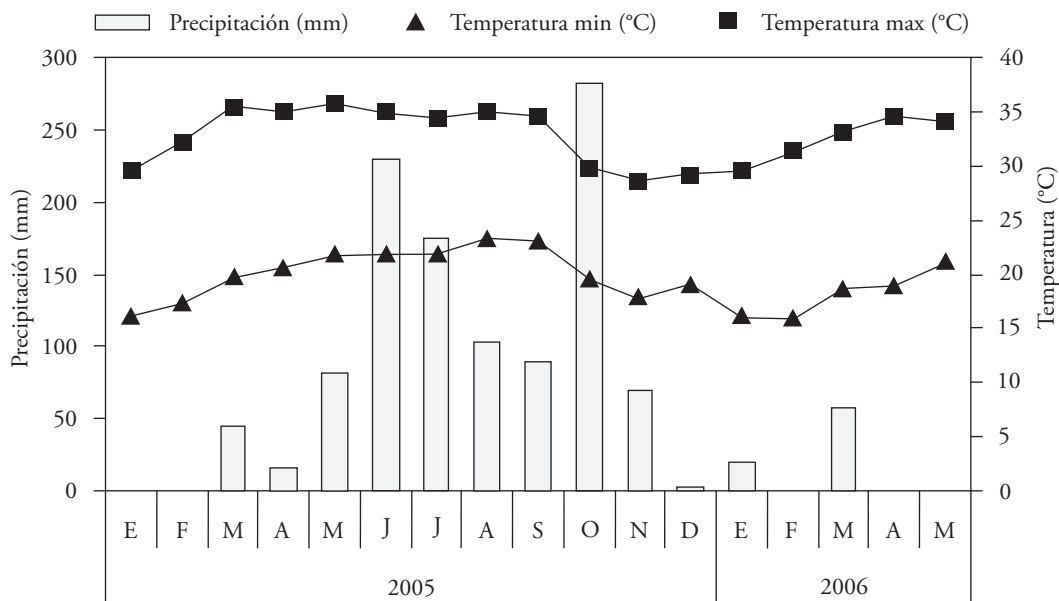


Figura 1. Distribución de la precipitación y temperaturas promedio en el área de estudio durante el periodo experimental (enero de 2005 a mayo de 2006).

Figure 1. Distribution of the precipitation and average temperatures in the study area during the experimental period (January 2005 to May 2006).

con base en la densidad de siembra. Con SAF se establecieron cinco parcelas de 90 m<sup>2</sup> en una pradera de *C. nlemfuensis*; cada parcela tenía 15 plantas de *G. sepium*, con densidad de siembra de 3.0×2.0 m entre surcos y plantas, 18 plantas de *T. diversifolia* intercaladas entre las hileras de *G. sepium* a 3.0×1.0 m, y *C. nlemfuensis* se estaba en toda el área. Las plantas evaluadas fueron tres de *G. sepium* y 12 de *T. diversifolia* y *C. nlemfuensis* del área útil (15 m<sup>2</sup>). Antes de las evaluaciones se realizó un corte para uniformar las parcelas experimentales; ambos sistemas de cultivo tenían dos años de establecidos. Durante el estudio limpiaron las parcelas mediante chapeos manuales.

El rendimiento de forraje (Mg MS ha<sup>-1</sup>) y el porcentaje de hoja (H), tallo (T) y tejido muerto (MM) se cuantificaron en *C. nlemfuensis* en monocultivo y en SAF. Las muestras se cosecharon a menos de 5 cm del suelo, cada 30 d en la época de lluvias, y cada 42 d en nortes y secas. El forraje verde se pesó, se mezcló y separaron al azar dos submuestras de 100 g, una para determinar el rendimiento (Mg MS ha<sup>-1</sup>) y otra para obtener los componentes forrajeros.

En *T. diversifolia* las plantas se cosecharon a 0.5 m del suelo y *G. sepium* a 1.0 m en monocultivo y en SAF. La biomasa fresca se pesó, luego dos submuestras de 1 kg se separaron para determinar el rendimiento y componentes forrajeros. Las submuestras se secaron 48 h a 55 °C en una estufa con circulación de aire forzado y se pesaron para estimar el rendimiento (Mg MS ha<sup>-1</sup>).

area (15 m<sup>2</sup>). Before the evaluations, a cut was done to make uniform the experimental plots; both cultivation systems had been established for two years. During the study, the plots were cleaned through manual weeding.

The forage yield (Mg DM ha<sup>-1</sup>) and the percentage of leaf (L), stalk (S) and dead tissue (DT) were quantified for *C. nlemfuensis* in monoculture and in AFS. The samples were harvested at less than 5 cm of ground, every 30 d in the rainy season, and every 42 d with north winds and dry season. The green forage was weighed, mixed, and two subsamples of 100 g were separated randomly, one to determine the yield (Mg DM ha<sup>-1</sup>) and another to obtain the fodder components.

In *T. diversifolia* the plants were harvested at 0.5 m from the ground and *G. sepium* at 1.0 m in monoculture and in AFS. The fresh biomass was weighed, and then two subsamples of 1 kg were separated to determine the yield and fodder components. The subsamples were dried for 48 h at 55 °C in a stove with forced air circulation and were weighed to estimate the yield (Mg DM ha<sup>-1</sup>).

The forage subsamples from each species in monoculture and in AFS were pulverized with a mill (Thomas Wiley®) with 1.0 mm sieves. The total content of N was determined with the Kjeldahl method and CP content was calculated with the conversion factor of 6.25 (AOAC, 2016), and the NDF content was also defined (Van Soest *et al.*, 1991).

Las submuestras de forraje de cada especie en monocultivo y SAF se pulverizaron con un molino (Thomas Wiley®) con cribas de 1.0 mm. El contenido total de N se determinó por el método Kjeldahl y el contenido de proteína cruda (PC) se calculó con el factor de conversión 6.25 (AOAC, 2016), y el contenido de fibra detergente neutro (FDN) también se determinó (Van Soest *et al.*, 1991).

El rendimiento (Mg MS ha<sup>-1</sup>) y composición del forraje, expresado como porcentaje de hoja (H), tallo (T) y material muerto (MM), contenido de PC y FDN se analizaron con el procedimiento de modelos mixtos (SAS, 1999), un modelo estadístico que incluyó el tratamiento como efecto fijo y las parcelas de muestreo como efecto aleatorio y comparación de medias de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rendimiento global de forraje ( $p \leq 0.05$ ) en SAF fue mayor al MCn, MTd y MGs. La disponibilidad mayor de biomasa en SAF fue en SATd (76.5 %), luego SACn (12.8 %) y SAGs (10.7 %) (Figura 2). Entre sistemas, la producción forrajera de MCn fue mayor a SAC ( $p \leq 0.05$ ), SATd fue mayor a MT ( $\leq 0.05$ ), pero MGs y SAGs fueron similares ( $> 0.08$ ).

En agosto, febrero y mayo se observó mayor productividad forrajera ( $p \leq 0.05$ ) en SAGs y SATd, y la

The yield (Mg DM ha<sup>-1</sup>) and fodder composition, expressed as percentage of leaf (L), stalk (S) and dead tissue (DT), content of CP and NDF were analyzed with Mixed models (SAS, 1999), which included the treatment as fixed effect, and the sampling plots as random effect and Tukey ( $p \leq 0.05$ ) means comparison.

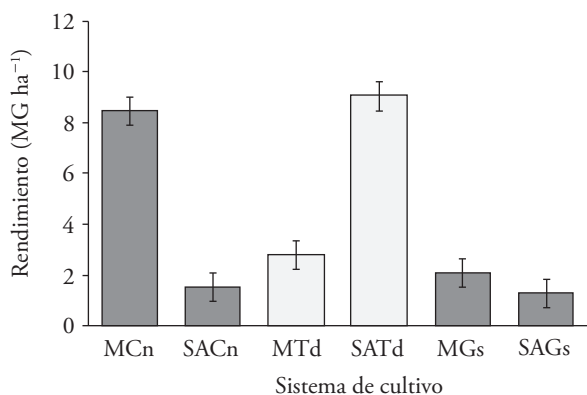
## RESULTS AND DISCUSSION

The global forage yield ( $p \leq 0.05$ ) in AFS was higher than MCn, MTd and MGs. The higher availability of biomass in AFS was in SATd (76.5 %), then SACn (12.8 %) and SAGs (10.7 %) (Figure 2). Between systems, the forage production of MCn was higher than SACn ( $p \leq 0.05$ ), SATd was higher than MTd ( $p \leq 0.05$ ), but MGs and SAGs were similar ( $p \leq 0.05$ ).

In August, February and May a higher forage productivity ( $p \leq 0.05$ ) was observed in SAGs and SATd, and the lowest production of biomass was with MGs and SAGs; in August, November and May the productivity of MCn was higher ( $p \leq 0.05$ ) than SAGs, SATd, SACn, MGs and MTd (Figure 3). The association of *T. diversifolia* and *G. sepium* with the other species did not modify production, except the yield of *C. nlemfuensis* which decreased, probably because of low tolerance to shade (Obispo *et al.*, 2008; Santiago-Hernández *et al.*, 2016) and from competition over nutrients, water and light, which interfere directly with the photosynthesis of the grass (Moreno, 2008).

A similar behavior was observed in other native grasses under the top of *Acacia nilotica*, *Dalbergia sissoo* and *Prosopis juliflora* (Kaur *et al.*, 2002). The lower yield of *C. nlemfuensis* in AFS could result primarily from the age, frequency and height of cutting. The rate of dry matter accumulation increases with age, frequency and height of cutting of the grass. This agrees with a report for alfalfa that the frequency of cutting modifies the productive behavior (Ventroni *et al.*, 2010). In the stoloniferous species, biomass production is due to the elongation of leaves and stalks, which vary in function of the age of regrowth and season of the year. In the *Brachiaria* hybrid, the biomass accumulation increases with older regrowth, from a grazing frequency of 14 to 28 d during the rainy season (Cruz-Hernández *et al.*, 2011).

The cultivation system did not affect the production of forage components in any of the species ( $p > 0.05$ ), although in *G. sepium* and *T.*



**Figura 2.** Rendimiento forrajero de *Cynodon nlemfuensis* (MCn y SACn), *Tithonia diversifolia* (MTd y SATd) y *Gliricidia sepium* (MGs y SAGs) en monocultivo y sistema agroforestal, respectivamente (media  $\pm$  error estándar).

**Figure 2.** Forage yield of *Cynodon nlemfuensis* (MCn and SACn), *Tithonia diversifolia* (MTd and SATd) and *Gliricidia sepium* (MGs and SAGs) in monoculture and agroforestry system, respectively (mean  $\pm$  standard error).



producción menor de biomasa fue con MGs y SAGs; en agosto, noviembre y mayo la productividad de MCn fue mayor ( $p \leq 0.05$ ) a SAGs, SATd, SACn, MGs y MTd (Figura 3). La asociación de *T. diversifolia* y *G. sepium* con las otras especies no modificó la producción, excepto el rendimiento en *C. nlemfuensis* que disminuyó, posiblemente por poca tolerancia a la sombra (Obispo *et al.*, 2008; Santiago-Hernández *et al.*, 2016) y por la competencia por nutrientes, agua y luz, que interfieren directamente con la fotosíntesis de la gramínea (Moreno, 2008).

Un comportamiento similar se observó en otras gramíneas nativas bajo la copa de *Acacia nilotica*, *Dalbergia sissoo* y *Prosopis juliflora* (Kaur *et al.*, 2002). El rendimiento menor de *C. nlemfuensis* en SAF pudo deberse principalmente a la edad, la frecuencia y la altura de corte. A mayor edad, frecuencia y altura de corte del pasto la tasa de acumulación de materia seca incrementa. Esto coincide con lo reportado en alfalfa de que la frecuencia de corte modifica el comportamiento productivo (Ventroni *et al.*, 2010). En las especies estoloníferas, la producción de biomasa se debe a la elongación de hojas y tallos, que varían en función de la edad del rebrote y la época del año. En el híbrido *Brachiaria* a mayor edad de rebrote la acumulación de biomasa aumenta, al pasar de una frecuencia de pastoreo de 14 a 28 d en época de lluvias (Cruz-Hernández *et al.*, 2011).

El sistema de cultivo no afectó la producción de componentes forrajeros en ninguna de las especies ( $>0.05$ ), pero en *G. sepium* y *T. diversifolia*, en ambos sistemas de cultivo, la disponibilidad de material comestible fue mayor (Figura 4). Es decir, ambas especies pueden considerarse para el diseño de sistemas agroforestales.

Estos resultados son similares a los reportados en sistemas de producción de gramíneas en monocultivo y asociadas con arbóreas, en los cuales la producción de H y T es similar en ambos sistemas (Ramírez *et al.*, 2003). Aunque el sistema de cultivo no cambió la producción de componentes forrajeros, *T. diversifolia* puede ser opción con disponibilidad alta de hoja y proporción baja de T y MM. Esto se puede deber a su adaptabilidad fisiológica a la frecuencia de cortes de 42 d, porque a menor edad de corte la producción H y T tierno es mayor. Este comportamiento se observa en especies con crecimiento similar, como *Morus alba* y *Cajanus cajan* (Martínez *et al.*, 2002).

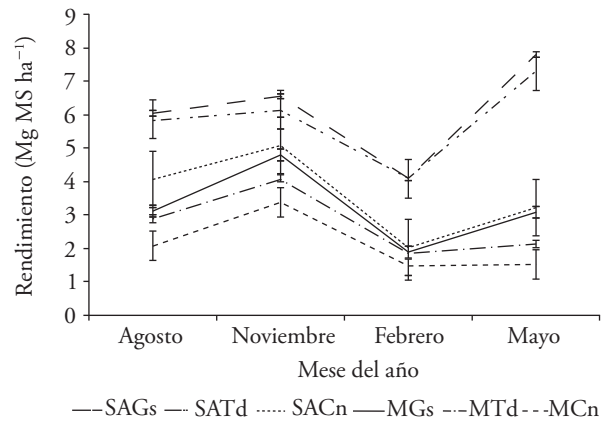


Figura 3. Comportamiento productivo de *Cynodon nlemfuensis* (MCn), *Tithonia diversifolia* (MTd) y *Gliricidia sepium* (MGs) en monocultivo y en sistema agroforestal (SAF) (media  $\pm$  error estándar).

Figure 3. Productive behavior of *Cynodon nlemfuensis* (MCn), *Tithonia diversifolia* (MTd) and *Gliricidia sepium* (MGs) in monoculture and in agroforestry system (AFS) (mean  $\pm$  standard error).

*diversifolia*, the availability of edible material was higher in both cultivation systems (Figure 4). That is, both species can be considered for the design of agroforestry systems.

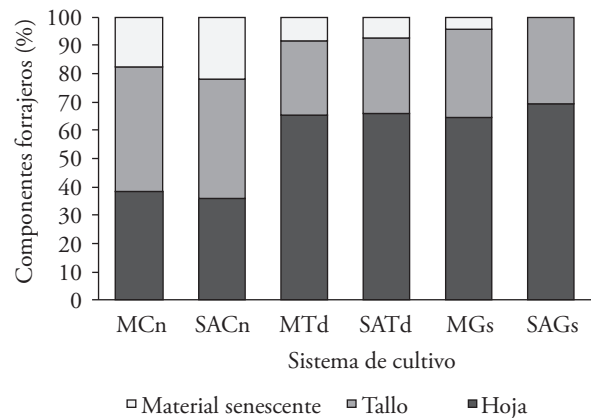
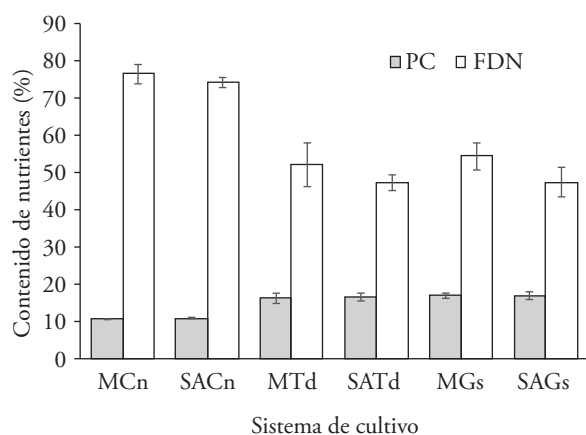


Figura 4. Porcentaje de componentes forrajeros de *Cynodon nlemfuensis* (MCn y SACn), *Tithonia diversifolia* (MTd y SATd) y *Gliricidia sepium* (MGs y SAGs) en monocultivo y en sistema agroforestal, respectivamente.

Figure 4. Percentage of forage components of *Cynodon nlemfuensis* (MCn and SACn), *Tithonia diversifolia* (MTd and SATd), and *Gliricidia sepium* (MGs and SAGs) in monoculture and in agroforestry system, respectively.

La producción alta de hojas y baja de tallos en *G. sepium* podría atribuirse a la edad de corte, porque esta producción puede ser mejor con cortes cada 60 d (Ramos-Trejo *et al.*, 2016), lo que difiere de los resultados de nuestro estudio. Al aumentar la edad de rebrote, la proporción de material comestible disminuye, pero la producción total de biomasa incrementa independiente de la época del año. Esto es similar a lo observado por Angulo *et al.* (2005) en *Acacia mangium* cuya producción mayor de biomasa fue con una frecuencia de 8d en época seca y de lluvias, con frecuencias de corte de 40, 60 y 80 d, e independiente de la época. El contenido de PC en *C. nlemfuensis* fue similar en monocultivo y SA ( $>0.05$ ). El sistema de cultivo no afectó el contenido de FDN en ninguna especie (Figura 5). En *G. sepium* y *T. diversifolia* hubo valores elevados de PC en ambos sistemas de cultivo comparados con PC en *C. nlemfuensis*. Los contenidos de PC y FDN del estudio estuvieron en el intervalo reportado para *G. sepium* y *T. diversifolia* (Verdecía *et al.*, 2011; Ramos *et al.*, 2016).

En nuestro estudio no hubo efecto de sistema de cultivo en el contenido PC en la gramínea. Esto concuerda con un reporte de Medinilla-Salinas *et al.* (2013) para *Megathyrsus maximus*, en el cual la sombra no cambió calidad de la biomasa; sin embargo, la calidad de la biomasa mejoró bajo la sombra del



**Figura 5.** Calidad forrajera de *Cynodon nlemfuensis* (MCn y SACn), *Tithonia diversifolia* (MTd y SATd) y *Gliricidia sepium* (MGs y SAGs) en monocultivo y en sistema agroforestal.

**Figure 5.** Forage quality of *Cynodon nlemfuensis* (MCn and SACn), *Tithonia diversifolia* (MTd and SATd) and *Gliricidia sepium* (MGs and SAGs) in monoculture and in agroforestry system.

These results are similar to those reported in grass production systems in monoculture and associated to trees, in which the production of L and S is similar in both systems (Ramírez *et al.*, 2003). Although the cultivation system did not change the production of forage components, *T. diversifolia* may be an option with high leaf availability and low proportion of S and DT. This can be due to its physiological adaptability to the cutting frequency of 42 d, because at younger age of cutting the production of L and tender S is higher. This behavior was observed in species with similar growth, such as *Morus alba* and *Cajanus cajan* (Martínez *et al.*, 2002).

The high production of leaves and low production of stalks in *G. sepium* could be attributed to the age of cutting, because this production can be better with cuts every 60 d (Ramos-Trejo *et al.*, 2016), which differs from the results of our study. By increasing the age of regrowth, the proportion of edible material decreases, but the total production of biomass increases regardless of the time of the year. This is similar to what was observed by Angulo *et al.* (2005) in *Acacia mangium* which highest biomass production was with a frequency of 80 d, in the dry and rainy seasons, with cutting frequencies of 40, 60 and 80 d, and independent of the season.

The CP content in *C. nlemfuensis* was similar in monoculture and AFS ( $p>0.05$ ). The cultivation system did not affect the NDF content in any species (Figure 5). In *G. sepium* and *T. diversifolia* there were high values of CP in both cultivation systems compared to the CP in *C. nlemfuensis*. The CP and NDF contents of the study were within the interval reported for *G. sepium* and *T. diversifolia* (Verdecía *et al.*, 2011; Ramos *et al.*, 2016).

In our study, there was no effect of the cultivation system on the CP content in the grass. This agrees with a report by Medinilla-Salinas *et al.* (2013) for *Megathyrsus maximus*, in which the shade did not change the quality of the biomass; however, the quality of the biomass improved under the tree shade in a study of the effect of *Melia azedarach* L. on the physiology, production and forage quality of *Megathyrsus maximus* cv. Tanzania and cv. Mombaza, and the Urochloa Oaxaca and Yacare hybrid (Santiago-Hernández *et al.*, 2016). The CP content in the grass in our experiment differed from the report by Obispo *et al.* (2008) that the CP content increases in the grasses with shade.

árbol en un estudio del efecto de *Melia azedarach* L. sobre la fisiología, producción y calidad de forraje de *Megathyrus maximus* cv. Tanzania y cv. Mombaza y el híbrido *Urochloa* Oaxaca y Yacare (Santiago-Hernández *et al.*, 2016). El contenido de PC en la gramínea de nuestro experimento difirió de lo informado por Obispo *et al.* (2008), de que el contenido de PC aumenta en las gramíneas con sombra.

Pero los resultados de *G. sepium* y *T. diversifolia* concuerdan con algunos intervalos de valores de las mismas variables registrados por Ramírez *et al.* (2010) y Ramos *et al.* (2016) de que ambas especies tienen calidad superior al mínimo necesario en los forrajes para alimentación de rumiantes (7 % PC). Los valores inferiores reducen la actividad microbiana del rumen debido a la falta de N para la microflora ruminal (Ku *et al.*, 2013). Los resultados del análisis de planta entera (mezcla de tallos y hojas) pudo tener efecto, debido a que en los tallos la conversión de los productos fotosintéticos a componentes estructurales es rápida, y hay disminución de nitratos, proteínas y carbohidratos solubles, con aumento de los componentes estructurales de la pared celular (Soliva *et al.*, 2008). Los resultados con *Morus alba* confirman lo anterior, pues al aumentar la edad de corte de uno a seis meses, se incrementó la proporción H:T, lo cual indica aumento en la producción de tallos con mayor edad de corte (Kabi *et al.*, 2008). El contenido de FDN en monocultivo y SAF fue similar y coincide con lo reportado en la literatura de que en arbóreas similares a *G. sepium* no hay grandes variaciones en la FDN por efecto de la edad de rebrote. Los valores fluctúan entre 31 y 44 % de FDN (Rivera *et al.*, 2004), en pasto estrella con frecuencia de corte de 28 d hay 76.9 % de FDN (Johnson *et al.*, 2001) y en asociación de *C. nlemfuensis* con *L. leucocephala* hay 73 % de FDN (Maya *et al.*, 2005)

## CONCLUSIONES

El uso del SAF conformado por *C. nlemfuensis*, asociado con *G. sepium* y *T. diversifolia*, produjo rendimiento mayor de forraje en conjunto, sin afectar la proporción de los componentes forrajeros (hoja y tallo) o la calidad nutritiva del forraje de las especies. No obstante, en SAF se redujo el rendimiento forrajero de *C. nlemfuensis* y cambió el rendimiento de *G. sepium*, pero aumentó el rendimiento forrajero de *T. diversifolia*. Se recomienda precaución en la integración de especies en el diseño de un sistema

However, the results of *G. sepium* and *T. diversifolia* agree with some intervals of values from the same variables recorded by Ramírez *et al.* (2010) and Ramos *et al.* (2016) that both species have a higher quality than the minimum necessary in the forages for ruminant diets (7 % CP). The lower values reduce the microbial activity of the rumen because of the lack of N for ruminal microflora (Ku *et al.*, 2013). The results from the analysis of the whole plant (mixture of stems and leaves) could have an effect, because in the stems the conversion of photosynthetic products into structural components is fast, and a decrease in nitrates, proteins and soluble carbohydrates takes place, with an increase of the structural components of the cell wall (Soliva *et al.*, 2008). The results with *Morus alba* confirm this, since when increasing the age of cutting from one to six months, the L:S rate was increased, indicating an increase in the production of stems with older age of cutting (Kabi *et al.*, 2008). The NDF content in monoculture and ASF was similar and agrees with reports in the literature about tree species similar to *G. sepium* where there are not large variations of NDF from the effect of regrowth age. The values fluctuate between 31 and 44 % of NDF (Rivera *et al.*, 2004), in star grass with cutting frequency of 28 d there is 76.9 % of NDF (Johnson *et al.*, 2001) and in association of *C. nlemfuensis* with *L. leucocephala* there is 73 % of NDF (Maya *et al.*, 2005).

## CONCLUSIONS

The use of AFS established by *C. nlemfuensis*, associated with *G. sepium* and *T. diversifolia*, produced higher yield of forage in conjunction, without affecting the proportion of the forage components (leaf and stem) or the nutritional quality of the forage from the species.

However, in AFS the forage yield of *C. nlemfuensis* decreased and the yield of *G. sepium* changed, although the forage yield of *T. diversifolia* increased. Precaution is recommended when incorporating species in the design of an agroforestry system, for it requires identifying the species adequately to obtain an optimal result.

—End of the English version—

-----\*-----



agroforestal, porque se requiere identificar de manera adecuada las especies para obtener un resultado óptimo.

## LITERATURA CITADA

- Angulo, J., I. Rodríguez, y Mahecha, L. 2015. Producción y calidad de follaje de *Acacia Mangium* Willd bajo tres frecuencias de corte en dos épocas del año. *Livest. Res. Rural Dev.* 17. Art. 52.
- AOAC, 2016. Official Methods of Analysis of AOAC international, 20th ed. The Association of Official Analytical Chemists International. AOAC International, United States of America.
- Barros-Rodríguez, M., J. Solorio-Sánchez, J. Ku-Vera, A. Ayala-Burgos, C. Sandoval-Castro and G. Solís-Pérez. 2012. Productive performance and urinary excretion of mimosine metabolites by hair sheep grazing in a silvopastoral system with high densities of *Leucaena leucocephala*. *Trop. Anim. Health Prod.* 44: 1873-1878.
- Bautista, F., O. Frausto., T. Ihl., y Y. Aguilar. 2015. Actualización del mapa de los suelos del estado de Yucatán en México: Enfoque geomorfológico y WRB. *Ecosist. Rec. Agrop.* 2: 303-315.
- Carmona A., J. C. 2007. Efecto de la utilización de arbóreas y arbustivas forrajeras sobre la dinámica digestiva en bovinos. *Rev. Lasallista Investig.* 4: 40-50.
- Cruz-Hernández, A., G. A. Hernández., Q. F. J. Enríquez., V. A. Gómez., J. E. Ortega., G. N. y M. Maldonado. 2011. Producción de forraje y composición morfológica del pasto Mulato (*Brachiaria híbrido* 36061) sometido a diferentes regímenes de pastoreo. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 2: 429-443.
- da Costa, B. M., I. C. V. Santos, G. J. C. de Oliveira, y I. G. Pereira. 2009. Avaliação de folhas de *Gliricidia sepium* (JACQ.) walp por ovinos. *Arch. Zootec.* 58: 33-41.
- Gallego-Castro, L. A., L. Mahecha-Ledesma y J. Angulo-Arizala. 2014. Potencial forrajero de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray en la producción de vacas lecheras. *Agron. Mesoam.* 25: 393-403.
- Gaviria-Urbe, X., J. F. Naranjo-Ramírez, D. M. Bolívar-Vergara y R. Barahona-Rosales. 2015. Consumo y digestibilidad en novillos cebuínos en un sistema silvopastoril intensivo. *Arch. Zootec.* 64: 2Gómez, S., O. Guenni, and L. Bravo de Gueni. 2012. Grass and Forage Science Growth, leaf photosynthesis and canopy light use efficiency under differing irradiance and soil N supplies in the forage grass *Brachiaria decumbens*. *Grass Forage Sci.* 68: 395-407.
- INEGI. 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Yucatán. Desglose geográfico municipal.
- Johnson, C. R., B. A. Reiling, P. Mislevy and M. B. Hall. 2001. Effects of nitrogen fertilization and harvest date on yield, digestibility, fiber and protein fractions of tropical grasses. *J. Anim. Sci.* 79: 2439-2448.
- Kabi, F., and F. B. Bareeba. 2008. Herbage biomass production and nutritive value of mulberry (*Morus alba*) and *Calliandra calothyrsus* harvested at different cutting frequencies. *Anim. Feed Sci. Technol.* 140: 178-190.
- Kaur, B., S. R. Gupta and G. Singh. 2002. Carbon storage and nitrogen cycling in silvopastoral systems on a sodic soil in northwestern India. *Agrofor. Syst.* 54: 21-29.
- Ku-Vera, J. C., A. J. Ayala-Burgos., F. J. Solorio-Sánchez., E. G. Briceño-Poot., A. Ruiz-González., A. T. Piñero-Vázquez., M. Barros-Rodríguez., A. Soto-Aguilar., J. C. Espinoza-Hernández., S. Albores-Moreno., A. J. Chay-Canul., C. F. Aguilar-Pérez., L. Ramírez- Avilés., and J. Bazán-Godoy. 2013: Tropical tree foliage and shrubs as feed additives in ruminant rations. *In: Salem, A. F. Z. M. (ed). Nutritional Strategies of Animal Feed Additives.* Nova Science Publishers, Inc., New York. pp: 59-76.
- Martínez, R., J. M. Zorrilla., J. M. Palm, y A. González. 2002. Evaluación del rendimiento, composición química y digestibilidad in situ de gandul (*Cajanus cajan*) en diferentes edades de crecimiento. *Pastos Forrajes* 25: 115-122.
- Maya, M. G. E., C. V. Durán, y J. E. Ararat. 2005. Valor nutritivo del pasto estrella solo y en asociación con *Leucaena* a diferentes edades de corte durante el año. *Acta Agron.* 54: 41-46.
- Medinilla-Salinas, L., M. D. Vargas-Mendoza., S. López-Ortiz., C. Ávila-Reséndiz., W. B. Campbell, and M. del C. Gutiérrez-Castorena., 2013. Growth, productivity and quality of *Megathyrus maximus* under cover from *Gliricidia sepium*. *Agrofor. Syst.* 87: 891-899.
- Merchant, F. G. y J. J. Solano. 2016. Las praderas, sus asociaciones y características: una revisión. *Acta Agríc. Pec.* 2: 1-11.
- Moreno, G. 2008. Response of understory forage to multiple tree effects in Iberian dehesas Response of understory forage to multiple tree effects in Iberian dehesas *Agriculture. Agric. Ecosyst. Environ.* 123: 239-244.
- Nieves, D., O. Terán, L. Cruz, M. Mena, F. Gutiérrez, y J. Ly. 2011. Digestibilidad de nutrientes en follaje de árnica (*Tithonia diversifolia*) en conejos de engorde. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 14: 309-314.
- Obispo, N. E., Y. Espinoza, J. L. Gil, F. Ovalles, y M. F. Rodríguez. 2008. Efecto del sombreado sobre la producción y calidad del pasto guinea (*Panicum maximum*) en un sistema silvopastoril. *Zootec. Trop.* 26: 285-288.
- Palma, J.M. 2005. Los árboles en la ganadería del trópico seco. *Av. Investig. Agropecu.* 9: 1-11.
- Ramírez, R. O., P. J. Pérez, G. A. Hernández, J. G. Herrera H., y M. A. Hernández. 2003. Evaluación del rendimiento y la utilización de la asociación estrella-clitoria cosechada a diferente asignación de forraje. *Téc. Pecu. Méx.* 41: 219-230.
- Ramírez-Rivera, U., R. Sanginés-García, J. Esobedo-Mex, F. Cen-Chuc, J. Rivera-Lorca, y P. Lara-Lara. 2010. Effect of diet inclusion of *Tithonia diversifolia* on feed intake, digestibility and nitrogen balance in tropical sheep. *Agrofor. Syst.* 80: 295-302.
- Ramos-Trejo, O., J. R. Canul-Solis, y J. C. Ku-Vera. 2016. Forage yield of *Gliricidia sepium* as affected by harvest height and frequency in Yucatan, Mexico. *Rev. Biol. Cien.* 4: 116-123.
- Pérez, A., I. Montejo, J. M. Iglesias, O. López, G. J. Martín, D. E. García, I. Milián, y A. Hernández. 2009. *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray. *Pastos Forrajes* 32:1-15.
- SAS Institute, Inc. 1999. Statistical Analysis System. The SAS system for Windows release 8.0. USA.
- Santiago-Hernández, F., S. López-Ortiz, C. Ávila-Reséndiz, J. Jarrillo-Rodríguez, P. Pérez-Hernández, and J. de Dios Guerrero-

- Rodríguez. 2016. Physiological and production responses of four grasses from the genera *Urochloa* and *Megathyrus* to shade from *Melia azedarach* L. *Agrofor. Syst.* 90: 339–349.
- Sousa, L. F., R. M. Maurício, G. R. Moreira, L. C. Goncalves, I. Borges, and L. Pereira. 2010. Nutritional evaluation of 'Brasquiaro' grass in association with 'Aroeira' trees in a silvopastoral system. *Agrof Syst.* 79: 189–199.
- Soliva, C. R., A. B. Zeleke, C. Clement., H. D. Hess, V. Fievez, and M. Kreuzer. 2008. *In vitro* screening of various tropical foliages, seeds, fruits and medicinal plants for low methane and high ammonia generating potentials in the rumen. *Anim. Feed Sci. Technol.* 147: 53–71.
- Van Soest, P. J., J. B. Robertson, and B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *In: Symposium: carbohydrate methodology, metabolism and nutritional implications in dairy cattle.* *J. Dairy Sci.* 74: 3583-3597.
- Ventroni, L. M., J. J. Volenec, and C. A. Cangiano. 2010. Fall dormancy and cutting frequency impact on alfalfa yield and yield components. *Field Crops Res.* 119: 252–259.
- Verdecia, D., J. Ramírez, I. Leonard, Y. Álvarez, Y. Bazán, S. Andrés, R. Bodas, J. Álvarez, F. Giráldez, and S. López. 2011. Nutritive value of the *Tithonia diversifolia* in a location of Valle del Cauto. *Redvet* 12: 1–13.
- Villalobos, L., y J. Arce. 2013. Evaluación agronómica y nutricional del pasto Estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) en la zona de monteverde, Puntarenas, Costa Rica. Disponibilidad de biomasa y Fenología. *Agron. Costarricense* 37: 91–101, 1-27.