



Rendimiento y calidad nutritiva del forraje en un sistema silvopastoril intensivo con *Leucaena leucocephala* y *Megathyrus maximus* cv. Tanzania



Manuel Hernández Hernández ^a

Silvia López Ortiz ^{a*}

Jesús Jarillo Rodríguez ^b

Eusebio Ortega Jiménez ^a

Sergio Pérez Elizalde ^a

Pablo Díaz Rivera ^a

María Magdalena Crosby Galván ^a

^a Colegio de Postgraduados. Campus Veracruz. Km. 88.5 Carr. Fed. Xalapa–Veracruz, Predio Tepetates, Mpio. Manlio F. Altamirano, 91690, Veracruz, México.

^b Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical, Veracruz, México.

*Autor de correspondencia: silvialopez@colpos.mx

Resumen:

Se determinó el rendimiento y calidad del forraje en un sistema silvopastoril con *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham (5,000 árboles ha⁻¹) asociado con *Megathyrus maximus* cv. Tanzania, en cuatro intervalos de descanso (20, 30, 40 y 50 días), en dos épocas (lluvias y seca) en clima cálido subhúmedo. Los tratamientos se distribuyeron aleatoriamente a las unidades experimentales (12 parcelas, 24 m² c/u) y se evaluó el rendimiento y calidad nutritiva del forraje en la época húmeda (agosto-octubre, 2014) y seca (marzo-abril, 2015). La gramínea aportó la mayor proporción de forraje a la biomasa disponible (80 vs 20 %) y se produjo más biomasa total

a 50 días en lluvias (5,300 kg MS ha⁻¹) y seca (1,620 kg MS ha⁻¹); en lluvias, la proteína cruda (PC) de los arboles aumentó gradualmente a 22 % ($P<0.05$) hasta 50 días, y en seca fue similar entre intervalos (28 %) ($P>0.05$); fibra detergente neutro (FDN) se mantuvo (44 %) ($P>0.05$) y fibra detergente ácido (FDA) aumentó (25 %) ($P<0.05$) a 50 días, mientras digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) disminuyó (49 %) ($P<0.05$). En la gramínea, la PC (10 %) ($P<0.001$) y DIVMS (58 %) se mantuvieron hasta 40 días y después declinaron ($P<0.03$), aunque FDN y FDA aumentaron significativamente a 50 días, en ambas épocas. la asociación *L. leucocephala* y *M. maximus*, alcanza su mayor producción entre 40-50 días, con mejor calidad nutritiva de la gramínea a 40 días, que se puede compensar con el valor nutritivo del follaje de los árboles hasta los 50 días de descanso, independientemente de la época.

Palabras clave: Asociación árbol-gramínea, Sistema silvopastoril, Calidad nutritiva.

Recibido: 30/07/2017

Aceptado:07/01/2019

Introducción

Las condiciones climáticas de las regiones tropicales de México favorecen la producción de forrajes. No obstante, la temperatura y la precipitación que en una época favorecen el crecimiento vegetal, también pueden ser limitantes en invierno y primavera y afectar el crecimiento de los pastos⁽¹⁾. Las bajas temperaturas y alta nubosidad pueden disminuir el crecimiento durante la transición de lluvias a seca, y la ausencia de precipitación en primavera frena el crecimiento de las gramíneas, ocasionando escasez y baja calidad del forraje^(2,3).

La asociación de gramíneas y árboles forrajeros en sistemas silvopastoriles es una posibilidad para mejorar la disponibilidad de forraje durante el año y al mismo tiempo mejorar su calidad químico-nutricional^(4,5). Se ha demostrado que distintas asociaciones de gramíneas y árboles forrajeros pueden ser más productivas que las pasturas de gramíneas^(6,7), que la disponibilidad de forraje a través del año puede extenderse durante mayor tiempo aún en condiciones de precipitación estacional⁽⁸⁾, y que la calidad nutritiva del forraje ofrecido (follaje de árboles y gramíneas) es mejor que en gramíneas en monocultivos^(5,9). Por tanto, la asociación de gramíneas y arboles forrajeros incrementa la producción de forraje total y mejora la calidad de la dieta de los animales en pastoreo^(10,11).

Aun con las ventajas y beneficios que los sistemas silvopastoriles pueden brindar, es importante evaluar posibles combinaciones de especies arbóreas y gramíneas, para asegurar que la

combinación y el manejo promuevan un rendimiento y calidad del forraje disponible óptimos. *Megathyrsus maximus* cv. Tanzania es una de las gramíneas con mayor aceptación por los ganaderos debido a su alta capacidad de producción, con un contenido de proteína de 10 a 14 % y digestibilidad aceptable (hasta 60-70 %) y buena aceptación del ganado; además, se adapta a condiciones edáficas y climáticas diversas^(12,13). En el estado de Veracruz, este cultivar tiene gran capacidad de producción de forraje (hasta 8,317 kg MS ha⁻¹ a los 42 días de rebrote en lluvias y 1,027 kg MS ha⁻¹ a los 35 días de rebrote en el estiaje)⁽¹⁴⁾. El potencial productivo de esta gramínea puede complementarse con las ventajas que brindan los árboles forrajeros cultivados en hileras y en altas densidades⁽¹⁵⁾. *Leucaena leucocephala* es la especie arbórea más utilizada en los sistemas silvopastoriles; contribuye a mejorar la calidad de la dieta del ganado⁽¹⁶⁾ y a aumentar la cantidad de forraje disponible en los sistemas silvopastoriles. Bajo un manejo adecuado conserva sus hojas verdes en la época seca (marzo-junio) y se convierte en la fuente más importante de forraje, con mejor calidad nutritiva que las gramíneas durante esta época, cuando la disponibilidad de forraje es más baja y con menor contenido de proteína cruda^(17,18). También se ha demostrado que tiene un efecto positivo en la capacidad de producción de biomasa y en la composición química de las gramíneas con que se asocia^(9,16).

En los sistemas silvopastoriles, las gramíneas y árboles tienen diferentes hábitos de crecimiento⁽¹⁹⁾, que determinan diferentes capacidades de rebrote y producción de forraje a través del tiempo⁽²⁰⁾ y esta diferencia debe considerarse en los planes de manejo⁽²¹⁾. En la asociación de *Leucaena* y *Tanzania* se recomiendan intervalos de descansos que permitan la recuperación de los árboles sin detrimento de las gramíneas. Es decir, no dejar el sistema demasiado tiempo en descanso porque la gramínea alcanza la madurez más rápido y su calidad nutritiva cambia rápidamente⁽¹³⁾. En el manejo de este tipo de asociación deberá considerarse que el periodo de descanso será más largo en comparación con los sistemas de monocultivo a base de gramíneas, debido a que las plantas de *Leucaena* tardan más tiempo en recuperarse⁽²²⁾, considerando también un posible efecto de la época del año en el crecimiento de cada componente. Por ello, el objetivo de esta investigación fue determinar el intervalo de descanso que permita obtener la mayor producción de forraje con la mejor calidad nutritiva del forraje de un sistema silvopastoril con *L. leucocephala* y *M. maximus*, en dos épocas del año, en condiciones de clima cálido y precipitación estacional.

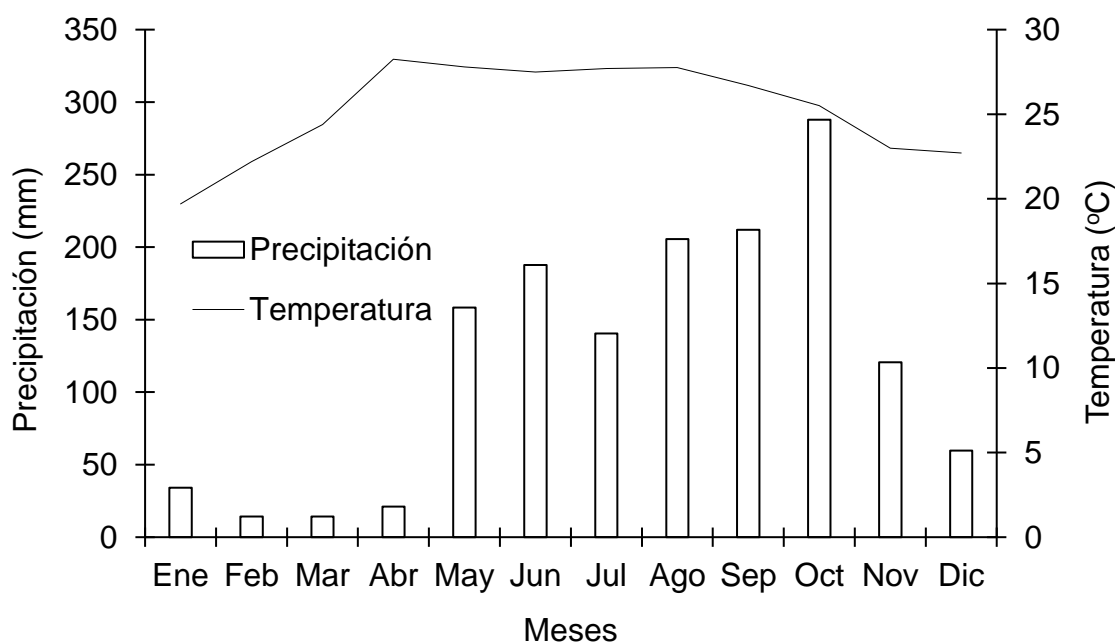
Material y métodos

Localización y características del sitio experimental

El experimento se realizó en el municipio Juan Rodríguez Clara, Veracruz, México (18° 00' 11" - 17° 59' 5" N, y 95° 16' 29" - 95° 16' 30" O), a 107 msnm, el clima AW₂, que corresponde a cálido subhúmedo con lluvias en verano⁽²³⁾ con la mayor temperatura media en abril (28 °C) y la menor (20 °C) en enero. Durante el periodo de la investigación, la mayor precipitación sucedió entre los

meses de agosto a octubre (235 mm por mes), y las menores (28 mm por mes) de diciembre a abril⁽²⁴⁾ (Figura 1).

Figura 1: Precipitación (mm mensuales) y temperatura (media mensual) de la región donde se realizó el experimento, durante el periodo 2014-2015



Sitio y parcelas experimentales

Se utilizó un potrero de 0.5 ha con una asociación de la gramínea *M. maximus cv. Tanzania* y el árbol *L. leucocephala cv. Cunningham*, establecido en el año 2011. La gramínea se propagó con material vegetativo y los árboles por semilla, los árboles se establecieron a una densidad de 5,000 plantas ha⁻¹ en un arreglo espacial de hileras a 2.0 m de distancia y 1.0 m entre plantas. Previo al experimento, este sistema silvopastoril estuvo sujeto al pastoreo-ramoneo desde los 12 meses después de establecido, bajo el manejo tradicional realizado por el productor, que consistía en pastoreo por periodos de 3 a 4 h diarias después de la ordeña, durante aproximadamente 7 días continuos, con periodos de descanso irregulares (>25 días) y carga animal entre 20 y 27 UA. Dentro del potrero se delimitó un área experimental de 288 m² donde se trazaron 12 parcelas de 24 m² (6 x 4 m), y cada parcela funcionó como unidad experimental.

Composición físico-química del suelo

Se realizó un análisis del suelo del sitio experimental. Se tomaron ocho muestras de suelo en zigzag a 30 cm de profundidad y con éstas se formó una muestra compuesta que se utilizó para determinar su composición física y química en el laboratorio⁽²⁵⁾. Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Suelo, Agua y Planta del Campus Veracruz, del Colegio de Postgraduados siguiendo los métodos de la Norma Oficial Mexicana. Se determinó que el suelo es de textura franco arenosa con 64 % de arena, 17 % de arcilla, 19 % de limo (método de Bouyoucos, AS-09), el pH es 6.6, ligeramente ácido (método electrométrico, AS-02); tiene un contenido bajo de materia orgánica (0.15 %) que se cuantificó con el método de Walkley y Black (AS-07), contenía 100 mg L⁻¹ de nitratos (método por Cadmio), 70 mg L⁻¹ de amonio (método Nessler), 108 mg L⁻¹ de potasio (método Turbidímetro) y 27 mg L⁻¹ de fósforo (método de amino ácido). La conductividad eléctrica en el sitio fue 45 dS m⁻¹ estimada con el método de extracto de saturación⁽²⁶⁾.

Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos fueron cuatro intervalos de descanso (20, 30, 40 y 50 días) después del corte, y se asignaron aleatoriamente a cada una de las 12 parcelas experimentales, con tres repeticiones por tratamiento. Se realizaron dos evaluaciones de la biomasa, la primera se realizó del 22 de agosto al 21 de septiembre de 2014 (en lluvias) y la segunda del 23 de mayo al 22 de abril de 2015 (en época seca).

Procedimiento experimental

El experimento se realizó de agosto de 2014 a abril del 2015. En ambas épocas se realizó un corte inicial de la biomasa aérea para uniformizar la altura; la gramínea se cortó a 20 cm de altura y los árboles se podaron a 1.0 m de altura, se hizo una poda parcial que consistió en cortar las ramas principales o más leñosas del árbol⁽²⁷⁾. Después del corte inicial transcurrieron los tiempos de descanso definidos como tratamientos.

Variables

Se determinó la biomasa total disponible de árbol y gramínea y la calidad nutritiva del forraje en cada intervalo de corte. En cada muestreo (época de lluvias y seca), se eligieron aleatoriamente cuatro puntos de muestreo (rectángulos de 2 x 1 m), en cada una de las tres parcelas (repeticiones) de cada tratamiento; dentro de cada rectángulo se cosechó todo el follaje de los árboles que constituía crecimiento nuevo (hojas y tallos tiernos), simulando el ramoneo que realizan los animales, simultáneamente se cosechó la materia verde total del pasto a 20 cm de altura^(12,28). De cada punto de muestreo se tomaron dos sub-muestras de biomasa verde, la primera para determinar

la materia seca y la segunda para realizar los análisis de calidad nutritiva. Las muestras de la gramínea y de árbol se secaron en una estufa de aire forzado a 60 °C durante 48 h.

Se evaluó la calidad nutritiva de la gramínea y de árbol por separado y se determinó el contenido de proteína cruda (PC) mediante el método de Microkjeldahl⁽²⁹⁾, fibra detergente neutro (FDN) y ácido (FDA) con la técnica de la bolsa de filtro (ANKOM²⁰⁰⁰; Ankom Technology, NY, USA) y la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) con la incubadora Daisy de ANKOM y bolsas Modelo F57 (ANKOM Technologies, Macedon, NY, USA)^(30,31). Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Nutrición Animal del Campus Montecillo, del Colegio de Postgraduados.

Análisis estadísticos

Todas las variables de biomasa (total, gramínea y árbol) y calidad nutritiva (PC, FDN, FDA y DIVMS), se analizaron bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial 4 x 2, con cuatro niveles de descanso de la pastura y dos épocas del año. El modelo incluyó los efectos de tratamiento (intervalos 20, 30 40 y 50 días), época (húmeda y seca) y la interacción época*tratamiento. Los análisis se realizaron con el procedimiento GLM (Generalized Linear Model) del paquete estadístico SAS⁽³²⁾. Cuando hubo diferencia estadística ($P < 0.05$) entre tratamientos se realizaron pruebas de comparación de medias de la biomasa y calidad nutritiva del pasto y del árbol con el método LSMeans (Least Square Mean).

Resultados

Biomasa forrajera

La biomasa forrajera total (gramínea y árboles) difirió de manera significativa ($P < 0.001$) por el efecto de la interacción entre los intervalos de descanso y la época (Cuadro 1). En época de lluvias, la mayor producción se observó a 50 días ($P < 0.05$), la menor a 20 días ($P < 0.05$) y similar en los descansos de 30 y 40 días ($P > 0.05$). En época seca, los rendimientos más altos ocurrieron a los 50 y 40 días que fueron similares entre sí ($P > 0.05$), la producción intermedia a 30 días que fue similar a 40 días ($P > 0.05$), la menor a 20 días y fue similar a 30 días ($P > 0.05$).

Cuadro 1: Biomasa forrajera de gramínea, árbol y biomasa total (árbol + gramínea; kg MS ha⁻¹) en un sistema silvopastoril con *Megathyrus maximus* cv. Tanzania y *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham, a 20, 30, 40 y 50 días de descanso, en dos épocas del año

Intervalos	Lluvias			Secas		
	Gramínea	Árbol	Total	Gramínea	Árbol	Total
20	1140 ± 240 ^c	60 ± 20 ^c	1200 ± 24 ^c	330 ± 250 ^c	40 ± 20 ^a	370 ± 240 ^c
30	2270 ± 240 ^b	100 ± 20 ^c	2370 ± 24 ^b	680 ± 240 ^{bc}	20 ± 20 ^a	700 ± 240 ^b
40	2330 ± 260 ^b	300 ± 20 ^a	2630 ± 26 ^b	1090 ± 240 ^{ab}	30 ± 20 ^a	1120 ± 230 ^{ab}
50	5110 ± 240 ^a	190 ± 20 ^b	5300 ± 24 ^a	1580 ± 240 ^a	30 ± 20 ^a	1610 ± 230 ^a

^{abc} Medias con distinta literal en la misma columna indica diferencia estadística ($P < 0.05$).

El forraje que la gramínea y los árboles aportaron individualmente también difirió por la interacción de intervalo de descanso y época ($P < 0.001$), en los dos casos, la cantidad de forraje aumentó conforme se extendió el periodo de descanso durante las lluvias; la biomasa de la gramínea aumentó de 1,140 a 5,110 kg MS ha⁻¹ y la del árbol de 60 a 190 kg MS ha⁻¹, del intervalos de 20 al de 50 días, sin embargo, durante la época seca mientras la disponibilidad de la gramínea aumentó de 330 a 1,580 kg de los 20 a los 50 días, la biomasa de los árboles se mantuvo baja (alrededor de 30 kg en todos los tratamientos ($P > 0.05$)) (Cuadro 1). La gramínea aportó una mayor cantidad de forraje a la biomasa total que los árboles, en ambas épocas (88.6 a 96.3 % de forraje en lluvias y 88.0 a 97.7 % de forraje en seca).

Calidad químico-nutricional de la biomasa

Los contenidos de proteína cruda en el follaje de los árboles difirieron de manera significativa por el efecto de la interacción entre el intervalo de descanso y la época ($P < 0.05$). En lluvias, los árboles mantuvieron entre 22 y 29 % PC y se encontró un mayor contenido en el follaje del intervalo más corto ($P < 0.05$) (Cuadro 2); mientras en la época seca, el contenido se mantuvo igual en todos los intervalos de descanso ($P > 0.05$), y en general, superaron a las concentraciones observadas en la época de lluvias. Esta interacción no afectó ninguna otra variable de calidad nutritiva de los árboles ($P > 0.05$).

Cuadro 2: Proteína cruda (%) de *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham en un sistema silvopastoril con *Megathyrus maximus* cv. Tanzania, a 20, 30, 40 y 50 días de descanso

Intervalos	Lluvias	Secas
20	29 ± 1.2 ^a	29 ± 1.2 ^a
30	23 ± 1.2 ^b	26 ± 1.2 ^a
40	23 ± 1.2 ^b	30 ± 1.2 ^a
50	22 ± 1.2 ^b	28 ± 1.2 ^a

^{ab} Medias con distinta literal en la misma columna indica diferencia estadística ($P < 0.05$).

La FDN en el follaje de los árboles se mantuvo estable y no difirió entre los intervalos de descanso ($P > 0.91$), mientras que la FDA varió entre intervalos ($P < 0.03$), y fue similar entre los intervalos 30, 40 y 50 días ($P > 0.05$), que superaron la concentración observada en el intervalo de 20 días ($P < 0.05$) (Cuadro 3). La digestibilidad del follaje se mantuvo más alta ($P < 0.03$) en los intervalos más cortos (20, 30 y 40 días) y se mantuvieron únicamente de 2 a 3 puntos porcentuales superiores a lo encontrado con el intervalo de 50 días ($P < 0.05$).

Cuadro 3: Fibra detergente neutro, fibra detergente ácido, y digestibilidad *in vitro* de la materia seca de *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham en un sistema silvopastoril con *Megathyrus maximus* cv. Tanzania, a 20, 30, 40 y 50 días de descanso

Intervalos	FDN (%)	FDA (%)	DIVMS (%)
20	45 ± 1.0 ^a	21 ± 0.8 ^b	52 ± 0.7 ^a
30	44 ± 1.0 ^a	24 ± 0.8 ^a	52 ± 0.7 ^a
40	45 ± 1.0 ^a	23 ± 0.8 ^{ab}	51 ± 0.7 ^{ab}
50	45 ± 1.0 ^a	25 ± 0.8 ^a	49 ± 0.7 ^b

FDN= fibra detergente neutro; FDA= fibra detergente ácido; DIVMS= digestibilidad *in vitro* de la materia seca.

^{ab} Medias con distinta literal en la misma columna indica diferencia estadística ($P < 0.05$).

En la gramínea, la PC ($P < 0.01$) y DIVMS ($P < 0.03$) variaron significativamente entre los intervalos de descanso del sistema silvopastoril. En el intervalo de 20 días, la concentración de PC (12 %) superó significativamente ($P < 0.05$) al contenido encontrado a los 30 y 40 días que fueron similares en concentración (10 % de PC) ($P > 0.05$); el intervalo de 50 días tuvo el valor más bajo de proteína (7 %) (Cuadro 4). La DIVMS mostró una tendencia similar a la PC, porque el forraje se mantuvo más digestible en los primeros intervalos, disminuyendo de 4 a 8 puntos porcentuales a los 50 días

($P < 0.05$). En general, la PC y DIVMS en la gramínea disminuyó conforme aumentó el intervalo de descanso de la pastura.

Cuadro 4: Proteína cruda (PC) y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) de *Megathyrus maximus* cv. Tanzania en un sistema silvopastoril con *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham, a 20, 30, 40 y 50 días de descanso

Intervalos	PC (%)	DIVMS (%)
20	12 ± 0.5 ^a	60 ± 1.3 ^a
30	10 ± 0.5 ^b	58 ± 1.3 ^a
40	10 ± 0.5 ^b	58 ± 1.3 ^a
50	7 ± 0.5 ^c	54 ± 1.3 ^b

^{abc} Medias con distinta literal en la misma columna indica diferencia estadística ($P < 0.05$).

La FDN ($P < 0.002$) y FDA ($P < 0.001$) en la gramínea difirieron por efecto de la interacción entre el intervalo de descanso y la época. En lluvias, la acumulación de FDN fue similar entre los intervalos de 20, 30 y 40 días, y en su conjunto fueron inferiores ($P < 0.05$) al contenido a los 50 días, coincidiendo con el valor más alto en FDA para ese intervalo (Cuadro 5), y los intervalos de 20, 30 y 40 días fueron similares ($P > 0.05$); mientras que, en época seca, FDN en la biomasa fue similar entre los intervalos de 40 y 50 d, que a su vez fueron significativamente superiores ($P < 0.05$) al contenido encontrado a los 20 y 30 días. Los mayores contenidos de FDA también se encontraron a los 40 y 50 días sin diferencias significativas entre ellos ($P > 0.05$) y los valores más bajos se observaron a los 20 y 30 días ($P < 0.05$).

Cuadro 5: Fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) de *Megathyrus maximus* cv. Tanzania en un sistema silvopastoril con *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham, a 20, 30, 40 y 50 días de descanso, en dos épocas del año

Intervalos	Lluvias		Secas	
	FDN (%)	FDA (%)	FDN (%)	FDA (%)
20	69 ± 0.8 ^b	37 ± 0.7 ^b	62 ± 0.8 ^c	28 ± 0.7 ^c
30	68 ± 0.8 ^b	38 ± 0.7 ^b	66 ± 0.8 ^b	32 ± 0.7 ^b
40	69 ± 0.8 ^b	39 ± 0.7 ^b	70 ± 0.8 ^a	36 ± 0.7 ^a
50	74 ± 0.8 ^a	44 ± 0.7 ^a	71 ± 0.8 ^a	36 ± 0.7 ^a

^{abc} Medias con distinta literal en la misma columna indica diferencia estadística ($P < 0.05$).

Discusión

La biomasa total se mantuvo más alta con el intervalo de corte más largo (50 días) durante ambas épocas, este aumento se puede asociar a un mayor tiempo de recuperación de las plantas (tanto árbol como gramínea) que les permite acumular más reservas en raíz y tallo^(33,34) y por lo tanto tener un rebrote vigoroso. Sin embargo, el aporte de biomasa de árbol fue inferior al aporte de la gramínea debido a la baja densidad de árboles (5,000 plantas ha⁻¹) en el sistema silvopastoril⁽⁶⁾, otros autores han encontrado mayor aporte de forraje de esta especie en densidades altas hasta de 35,000 árboles ha⁻¹⁽⁷⁾.

El rendimiento tanto de los árboles como de la gramínea dependió de la interacción del intervalo de descanso con época. Esto se debe a que las condiciones para el crecimiento de las plantas son diferentes entre las épocas. Al igual que en otros estudios realizados en condiciones de precipitación estacional⁽¹²⁾, las condiciones climáticas en la época húmeda (temperatura y precipitación) que prevalecieron durante esta investigación, favorecieron la producción de forraje de ambas especies^(35,36). En época de lluvias, el corte de 50 días se realizó a una temperatura de 25 °C y 287 mm de precipitación acumulada, que favorecieron el crecimiento de ambas especies. Por el contrario, durante la época seca, la escasa precipitación (21 mm) con temperaturas más altas (28 °C) no permitieron que las plantas expresaran su potencial de producción. También, cuando se depende de la humedad por precipitación, algunos intervalos de descanso coinciden con periodos más homogéneos de disponibilidad de humedad que otros, y eso se observó en el intervalo de 40 días cuya producción fue similar a la de 30 días en ambas épocas^(37,38).

Por otro lado, los árboles en la época seca muestran un comportamiento similar entre intervalos porque las condiciones de humedad limitadas son más homogéneas a través del tiempo sin variar la disponibilidad de humedad; su respuesta se diferencia de las gramíneas (que si varían aun en la época seca), posiblemente por ser plantas con hábitos de crecimiento y estrategias de sobrevivencia distintas^(39,40) que les permiten explorar capas más profundas del suelo para usar recursos como el agua.

Debido a que las condiciones agroecológicas (tipo de suelo y clima) varían entre las regiones y el manejo también puede variar, es difícil comparar los resultados con los obtenidos por otros autores^(1,41), la biomasa forrajera total en el presente estudio a los 50 días (5,300 kg MS ha⁻¹), es comparable a los 4,350 kg con 42 días de descanso reportados de la asociación *Cynodon nlemfuensis* y *L. leucocephala*, también en la época de lluvias⁽⁴²⁾. Comparado a lo reportado por otros⁽²²⁾ quienes en una asociación de *L. leucocephala* y las gramíneas *Brachiaria ruziziensis* y *Pennisetum* (Dawar napier y Taiwan A25) encontraron 7,080 kg MS ha⁻¹ a 40 días de reposo, durante la época de lluvias. Sin embargo, también se han reportado 2,690 kg⁽⁷⁾ a los 45 días de

descanso en la asociación de *L. leucocephala* y *M. maximus* en la época seca, bajo condiciones de riego; cantidades mayores (3,221 kg) fueron observadas⁽⁴³⁾ en una asociación *Cenchrus ciliaris*-*L. leucocephala* a los 42 días, durante la época seca y sin riego.

La biomasa forrajera del sistema silvopastoril mantuvo la calidad nutritiva más alta entre los 40 y 50 días de descanso. Mientras la gramínea tendió a disminuir su calidad después de los 40 días (más fracciones de fibra y menos PC y DIVMS), los árboles mantuvieron su follaje con mejores concentraciones de PC y DIVMS sin variar las cantidades de fracciones de fibra (FDN y FDA). Es sabido que los árboles de *L. leucocephala* mantienen su contenido de proteína hasta los 70 días (24 %) durante las lluvias⁽⁴⁴⁾ y que las gramíneas, independientemente de la especie, disminuyen su concentración de nutrientes más rápido que los árboles, debido a que sus ciclos de crecimiento son más cortos⁽²⁰⁾ y alcanzan la madurez más rápido, disminuyendo su calidad químico-nutricional. Por ejemplo, se ha reportado que *C. nlemfuensis* disminuye su calidad a partir del intervalo de 42 días en época de lluvias⁽⁴⁵⁾, así sucede también después de 40 días de descanso en las gramíneas *B. ruziziensis* y *Pennisetum* (Dawar napier y Taiwan A25)⁽²²⁾.

La época definió la calidad nutritiva de la biomasa; en el follaje de los árboles se observó un efecto marcado en los niveles de proteína que fueron más altos (hasta 8 puntos porcentuales) en la época seca. En la gramínea, el mayor efecto de la época se manifestó en menores cantidades de FDN y FDA en la época seca; también en que, durante las lluvias, las fracciones de fibra se mantuvieron estables durante los primeros 40 días y aumentaron significativamente hasta los 50 días, en cambio, en la época seca el contenido de las fracciones de fibras aumentó gradualmente a través del tiempo (de los intervalos). Una mayor calidad nutritiva de la biomasa en la época seca puede atribuirse a que el déficit de agua limita el crecimiento de las plantas retardando la madurez de las plantas, y al haber menor crecimiento hay menor demanda de metabolitos del contenido celular para formar tejido estructural, de ahí que las fracciones FDN y FDA resultan más estable en la época seca⁽⁴⁶⁾. La gramínea tuvo menor proporción de tallos en su biomasa en la época seca que en época húmeda. Otros autores han reportado un aumento en la concentración de proteína y disminución de las fracciones de fibra en el follaje de *L. leucocephala*^(44,47,48) y de las gramíneas^(49,50) en la época seca.

Aun cuando no se comparó la calidad nutritiva de los árboles con la calidad de la gramínea, se observó la tendencia a una menor digestibilidad del follaje de los árboles, esto también se ha observado en otros trabajos^(51,52) y se ha atribuido a una mayor lignificación en los árboles. Aunque a los 50 días de descanso los tallos nuevos de *L. leucocephala* no mostraron signos de lignificación, se sabe que las ramas de árboles y arbustos se lignifican para mantener su estructura⁽⁴⁵⁾ y que el contenido de lignina limita la digestibilidad de la materia⁽⁵³⁾, esto podría explicar parcialmente una menor digestibilidad del follaje de los árboles. Sin embargo, también puede relacionarse a la presencia de taninos condensados en esta especie⁽⁵⁴⁾ que pueden disminuir la digestibilidad de la materia seca, porque los taninos condensados tienen la particularidad de ligar la proteína y hacerla disponible en el intestino delgado⁽⁵⁵⁾. No obstante, la forma de crecimiento y las estrategias de

obtención de recursos de los árboles les permite mantener mayor calidad nutritiva durante periodos más prolongados que las gramíneas⁽⁵⁶⁾. Esto hace que en un sistema silvopastoril estos componentes se complementen para ofertar forraje de mayor calidad nutritiva.

La calidad nutritiva en los árboles es similar a lo que se ha reportado (29 % PC, 49 % FDN, 23 % FDA y 59 % DISMS) para la misma especie a los 42 días de descanso⁽⁴⁴⁾, y también a la calidad que se ha encontrado (30 % PC, 38 % FDN y 20 % FDA) a 30 días en la época seca⁽⁴⁸⁾. La calidad nutritiva que se determinó en la gramínea en esta investigación es comparable a la de *C. ciliaris* a los 42 días de descanso (11 % PC y 48 % DIVMS)^(48, 56). De la misma manera, también es comparable a la calidad de *M. maximus* (11% PC, 62% FDN y 59% DIVMS) manejada a intervalos fijos de 45 días, en la época de nortes⁽¹⁶⁾.

Conclusiones e implicaciones

Bajo las condiciones en que se realizó esta investigación, la asociación de *L. leucocephala* y *M. maximus* alcanza su mayor producción en la época húmeda, y en el intervalo de 50 días. Al mismo tiempo, la calidad nutritiva de la gramínea decae después de los 40 días, mientras que la calidad del forraje de los árboles se mantiene aún en los 50 días, independientemente de la época. Para definir el punto óptimo de pastoreo de un sistema silvopastoril como éste, es necesario tomar en cuenta tanto la cantidad de biomasa disponible como la calidad nutritiva de ambos componentes. A los 40 días la gramínea está en su punto más nutritivo, sin embargo, la biomasa forrajera total en el sistema es 50 % menor a la que se produce a los 50 días, por tanto, el pastoreo puede hacerse entre los 40 y 50 días buscando una mayor producción de forraje, sabiendo que la calidad nutritiva de la gramínea en este momento es menor, pero que puede compensarse con la calidad que mantiene el follaje de los árboles. La biomasa que aportan 5,000 árboles ha⁻¹ en un sistema silvopastoril es baja, pero esto es posible cambiarlo aumentando la densidad de plantas.

Agradecimientos

Se agradece al Sr. José Barrera Morfin por proporcionar acceso a su sistema silvopastoril y por su apoyo incondicional durante la fase de campo de esta investigación.

Literatura citada:

1. Benítez D, Fernández JL, Ray J, Ramírez A, Torres V, Tandrón I, Díaz M, Guerra J. Factores determinantes en la producción de biomasa en tres especies de pastos en sistemas racionales de pastoreo en el Valle del Cauto, Cuba. Rev Cuba Cienc Agrí 2007;41(3):231-238.

2. Hernández GA, Enríquez QJF, Velasco ZME, Ortega JE. Estrategias para reducir la estacionalidad de la producción animal en el trópico mexicano. En: Velasco ZME, *et al* editores. Producción y manejo de los recursos forrajeros tropicales. 1a ed. Universidad Autónoma de Chiapas, México; 2006:5-21
3. Cuartas CCA, Naranjo RJF, Tarazona MAM, Correa LGA, Barahona RR. Dry matter and nutrient intake and diet composition in *Leucaena leucocephala* – based intensive silvopastoral systems. Trop Subtrop Agroecosyt 2015;18(3):303-311.
4. Campos PDS, Renato TCC, Augusto MGC, Martins MR, Ávila PMF, Díaz MM, Ferreira XD. Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. Livest Sci 2011;141(2-3):166-172.
5. Gaviria X, Rivera JE, Barahona R. Calidad nutricional y fraccionamiento de carbohidratos y proteína en los componentes forrajeros de un sistema silvopastoril intensivo. Pastos y Forrajes 2015;38(2):194-201.
6. Benítez-Bahena Y, Bernal-Hernández A, Cortés-Díaz E, Vera CG, Carrillo AF. Producción de forraje de guaje (*Leucaena* spp.) asociado con zacate (*Brachiaria brizantha*) para ovejas en pastoreo. Rev Mex Cienc Agríc 2010;1(3):392-405.
7. Bacab-Pérez HM, Solorio-Sánchez FJ. Oferta y consumo de forraje y producción de leche en ganado de doble propósito manejado en sistemas silvopastoriles en Tepalcatepec, Michoacán. Trop Subtrop Agroecosyt 2011;13(3):271-278.
8. Alonso J, Febles G, Ruiz TE, Torres V, Achang G. Evaluación productiva de un silvopastoreo leucaena-guinea mediante técnicas multivariadas. Rev Cuba Cienc Agrí 2007;41(2):121-124.
9. Alonso J, Febles G, Ruiz TE, Torres V, Achang G. Características bromatológicas de guinea (*Panicum máximum* *vc.* Likoni) en un sistema silvopastoril con leucaena (*Leucaena leucocephala*) *cv.* Perú). Rev Cuba Cienc Agrí 2007;42(3):295-298.
10. Bugarín J, Lemus C, Sangines L, Aguirre J, Ramos A, Mildrey S, Arece J. Evaluación de dos especies de *Leucaena*, asociadas a *Brachiaria brizantha* y *Clitoria ternatea* en un sistema silvopastoril de Nayarit, México: I. Comportamiento agronómico. Pastos y Forrajes 2009;32(4):1-11.
11. López O, Olivera Y, Lamela L, Sánchez T, Montejo IL, Ronquillo M, Rojo-Rubio R. Efecto de la suplementación con concentrado en la fermentación *in vitro* de dietas para vacas lecheras en silvopastoreo. Pastos y Forrajes 2014;37(4):426-434.
12. Manríquez-Mendoza LY, López-Ortiz S, Olguín-Palacios C, Pérez-Hernández P, Díaz-Rivera P, López-Tecpoyotl ZG. Productivity of a silvopastoral system under intensive mixed species grazing by cattle and sheep. Trop Subtrop Agroecosyt 2011;13(3):573-584.

13. Álvarez PGR, Vivas MRLG, Suárez FGR, Cabezas CRR, Jacho MTE, Llerena GTJ, Valverde MHE, Moreira PEY, García MAR, Chacón ME, Verdecia ADM. Componentes del rendimiento y composición química de *Megathyrus maximus* en asociación con leguminosas. Rev Electrón Vet 2016;17(12):1-12.
14. Joaquín CS. Dinámica de crecimiento de cultivares de *Urochloa brizantha* Kunth.y *Megathyrus maximus* (Simon & Jacobs), a diferente frecuencia de corte [tesis doctorado]. Montecillo, Texcoco, estado de México: Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo; 2014.
15. Cubillos AM, Vallejo VE, Arbeli Z, Terán W, Dick RP, Molina CH, Molina E, Roldan F. Effect of the conversion of conventional pasture to intensive silvopastoral systems on edaphic bacterial and ammonia oxidizer communities in Colombia. Eur J Soil Biol 2016;(72):42-50.
16. Barros-Rodríguez M, Solorio-Sánchez J, Ku-Vera J, Ayala-Burgos A, Sandoval-Castro C, Solís-Pérez G. 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 2012;44;(8):1873-1878.
17. Bautista-Tolentino M, López-Ortiz S, Pérez-Hernández P, Vargas-Mendoza MC, Gallardo-López F. Forage productivity in agroecosystems using traditional and rotational cattle grazing in Paso de Ovejas, Veracruz, México. Trop Subtrop Agroecosyt 2011;13(3):279-290.
18. Casanova-Lugo F, Petit-Aldana J, Solorio-Sánchez FJ, Parsons D, Ramírez-Avilés L. Forage yield and quality of *Leucaena leucocephala* and *Guazuma ulmifolia* in mixed and pure fodder banks systems in Yucatan, Mexico. Agrofor Syst 2014;88(1):29-39.
19. Merchant-Fuentes I, Solano-Vergara JJ. Las praderas, sus asociaciones y características: una revisión. Acta Agrícola y Pecuaria 2016;2(1):1-11.
20. Valle JL, Palma JM, Sangines GL. Biomasa y composición nutricional de la asociación *Cenchrus ciliaris-Gliricidia sepium* al establecimiento. AIA 2004;8(2):1-7.
21. Rojas HS, Olivares PJ, Jiménez GR, Hernández CE. Manejo de praderas asociadas de gramíneas y leguminosas para pastoreo en el trópico. Rev Electrón Vet 2005;6(5):1-9.
22. Tudsri S, Ishii Y, Numaguchi H, Prasanpanich S. The effect of cutting interval on the growth of *Leucaena leucocephala* and three associated grasses in Thailand. Trop Grassl 2002;36(2):90-96.
23. García E. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 4^a ed. México: Ed. Limusa; 1987.

24. CONAGUA. Comisión Nacional del Agua-Veracruz, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Nacionales. Gobierno de México. <http://smn.cna.gob.mx/es/emas>. Consultado 25 Jul, 2016.
25. SEMARNAT. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificidades de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. México. 2003.
26. Hanna Instruments S. L. Manual de Instrucciones HI 83225. Grow Master para el Análisis de Nutrientes en Agricultura. https://www.infoagro.com/instrumentos_medida/instrucciones/instrucciones_fotometro_analisis_nutrientes_agricultura_hi83225.pdf Consultado 31 Jul, 2018.
27. Martínez MM, Reyes CA, Lara BA, Miranda RLA, Huerta BM, Uribe GM. Composición nutricional de leucaena asociada con pasto estrella en la Huasteca potosina de México. *Rev Mex Cienc Agríc* 2016;(16):3343-3355.
28. Sánchez T, Lamela L, López O. Caracterización de la comunidad vegetal en una asociación de gramíneas mejoradas y *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham. *Pastos y Forrajes* 2007;30(4):455-467.
29. A.O.A.C. Official Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemists. 12th Ed. Published by the Association of Official Agricultural Chemists. Washington, D.C. 1975.
30. Lowerth D, Jones H, Margaret V. The effect of pepsin pretreatment of herbage on the prediction of dry matter digestibility from solubility in fungal cellulase solutions. *J Sci Food Agric* 1975;(26):711-718.
31. Clarke T, Flinn PC, McGowan AA. Low-cost pepsin-cellulase assays for prediction of digestibility of herbage. *Grass Forage Sci* 1982;(37):147-150.
32. SAS. Statistical analysis system. SAS/STAT, user's guide version 4.3.0. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. 2010.
33. Garcia H, Nygren P, Desfontaines L. Dynamics of nonstructural carbohydrates and biomass yield in a fodder legume tree at different harvest intensities. *Tree Physiol* 2001;21(8):523-531.
34. Latt CR, Nair PKR, Kang BT. Interactions among cutting frequency, reserve carbohydrates, and post-cutting biomass production in *Gliricidia sepium* and *Leucaena leucocephala*. *Agrofor Syst* 2000;50(1):27-46.
35. Mahecha L, Durán CV, Rosales M. Análisis de la relación planta-animal desde el punto de vista nutricional en un sistema silvopastoril de *Cynodon plectostachyus*, *Leucaena leucocephala* y *Prosopis juliflora* en el Valle del Cauca. *Acta Agron* 2000;50(1-2):59-70.

36. Sage RF, Kubien SD. The temperature response of C3 and C4 photosynthesis. *Plant Cell Environ* 2007;30(9):1086-1106.
37. Benítez D, Fernández JL, Gómez I, Tandrón I, Espinosa R. Establecimiento de *Panicum maximum* cv. Likoni solo y asociado a dos leguminosas en el Valle del Cauto. *Pastos y Forrajes* 2003;26(3):1-4.
38. Mayo SS. Efecto de la frecuencia de poda sobre el crecimiento y rendimiento de forraje en dos sistemas silvopastoriles [tesis licenciatura]. Quintana Roo, México: Instituto Tecnológico de la Zona Maya; 2015.
39. Wencomo HB, Ortiz R. Capacidad de recuperación de 23 accesiones de *Leucaena* spp. después de la poda. *Pastos y Forrajes* 2011;34(1):53-68.
40. Casanova-Lugo F, Solorio-Sánchez FJ, Ramírez-Avilés L, Caamal-Maldonado JA, Ku-Vera JC. Forage yield and quality of *Leucaena leucocephala* and *Guazuma ulmifolia* in tropical silvopastoral systems. *Trop Grassl* 2014;2(1):24-26.
41. Muñoz-González JC, Huerta-Bravo M, Lara BA, Rangel SR, Rosa AJL. Producción de materia seca de forrajes en condiciones de Trópico Húmedo en México. *Rev Mex Cienc Agríc* 2016;(16):3329-3341.
42. Maya MGE, Durán CCV, Ararat JE. Altura, disponibilidad de forraje y relación hoja-tallo del pasto estrella solo y asociado con leucaena. *Acta Agron* 2005;54(2):1-6.
43. Sánchez A, Faria-Mármol J, Araque C. Producción de materia seca en una asociación *Cenchrus ciliaris* – *Leucaena leucocephala* al aplazar su utilización durante la época seca. 2008;26(2):117-123.
44. Santiago FI, Lara BA, Miranda RLA, Huerta BM, Krishnamurthy L, Muñoz-González JC. Composición química y mineral de leucaena asociada con pasto estrella durante la estación de lluvias. *Rev Mex Cienc Agríc* 2016;(16):3173-3183.
45. Maya MGE, Durán CCV, Ararat JE. Valor nutritivo del pasto estrella solo y en asociación con leucaena a diferentes edades de corte durante el año. *Acta Agron* 2005;54(4):2-9.
46. Van Soest PJ. Nutritional ecology of the ruminant: Plant, animal, and environment. 2nd ed. Cornell University. Ithaca and London; 1994: 77-107.
47. Sánchez A, Faria MJ. Efecto de la madurez de la planta en el contenido de nutrientes y la digestibilidad en una asociación *Cenchrus ciliaris*-*Leucaena leucocephala*. *Zoot Trop* 2013;31(1):16-23.

48. Pinto RR, Medina FJ, Gómez H, Guevara F, Ley A. Caracterización nutricional y forrajera de *Leucaena collinsii* a diferentes edades de corte en el trópico seco del sur de México. Rev Fac Agron 2014;31(1):78-99.
49. Mármol JF, Sánchez A. Efecto del aplazamiento de utilización sobre el contenido de nutrientes y digestibilidad de la materia orgánica de la asociación Buffel-Leucaena. Interciencia 2007;32(3):185-187.
50. Martínez MM, Reyes CA, Lara BA, Miranda RLA, Huerta BM, Uribe GM. Composición nutricional de leucaena asociada con pasto estrella en la Huasteca Potosina de México. Rev Mex Cienc Agríc 2016;(16):3343-3355.
51. Barahona RR, Sánchez PS. Limitaciones físicas y químicas de la digestibilidad de pastos tropicales y estrategias para aumentarla. Corpoica Cienc Tecnol 2005;6(1):69-82.
52. Delgado DC, Galindo J, Cairo J, Orta I, Domínguez M, Dorta N. Suplementación con follaje de *L. leucocephala*. Su efecto en la digestibilidad aparente de nutrientes y producción de metano en ovinos. Rev Cuba Cienc Agrí 2013;(47):267-271.
53. Palmer B, Jones R, Poathong S, Chobtang J. The value of *Leucaena leucocephala* bark in leucaena-grass hay diets for Thai goats. Trop Anim Health Prod 2010;42(8):1731-5.
54. Huang XD, Liand JB, Tan HY, Yahya R, Khamsekhiew B, Ho YW. Molecular weight and protein binding affinity of Leucaena condensed tannins and their effects on in vitro fermentation parameters. Anim Feed Sci Technol 2010;159(3-4):81-87.
55. González-García E, Cáceres O, Archimede H, Santana H. Nutritive value of edible forage from two *Leucaena leucocephala* cultivars with different growth habit and morphology. Agrofor Syst 2009;77(2):131-41.
56. González LS, Romero LAM, Bueno AL, Bravo MH, Gómez MU, Martínez MM. Fermentación *in vitro* y la correlación del contenido nutrimental de leucaena asociada con pasto estrella. Rev Mex Cienc Agríc 2016;(16):3185-3196.