

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL  
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**

**DIVISIÓN DE EDUCACIÓN  
ESCUELA DE POSGRADO**

**Evaluación productiva del pasto Cayman (*Urochloa* híbrido cv. CIAT BRO2/1752) en sistemas silvopastoriles en el trópico húmedo de Costa Rica**

**Tesis sometida a consideración de la División de Educación y la Escuela de Posgrado como requisito para optar al grado de**

***MAGISTER SCIENTIAE***

**en Agroforestería y Agricultura Sostenible**

**Kenia Lizeth David Lagos**

**Turrialba, Costa Rica**

**2021**

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero de la estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

**MAGISTER SCIENTIAE EN AGROFORESTERÍA  
Y AGRICULTURA SOSTENIBLE**

**FIRMANTES:**



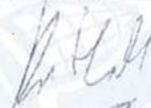
Cristóbal Villanueva Najarro, M.Sc.  
**Codirector de tesis**



Muhammad Akbar Ibrahim, Ph.D.  
**Codirector de tesis**



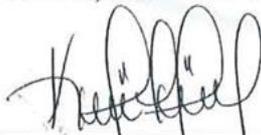
Danilo Pezo Quevedo, Ph.D.  
**Miembro Comité Consejero**



Rein van Der Hoek, Ph.D.  
**Miembro Comité Consejero**



Roberto Quiroz Guerra, Ph.D.  
**Decano, Escuela de Posgrado**



Kenia Lizeth David Lagos  
**Candidata**

## **Dedicatoria**

A mi esposo e hijos, por ser el motor que me impulsa a lograr mis sueños.

A mis padres, por su apoyo incondicional.

A mis hermanos y sobrinos, por motivarme a ser mejor.

## **Agradecimientos**

A Dios, por iluminarme y enseñarme que sin Él nada es posible.

A mi director consejero, Cristóbal Villanueva, por confiarme el proyecto de investigación, por su paciencia, dedicación y enseñanzas en este proceso.

A mi director consejero, Muhammad Ibrahim, por brindarme la oportunidad de ser su estudiante, dedicar su valioso tiempo y por sus consejos en el momento oportuno.

Al Dr. Danilo Pezo, por guiarme, inspirarme y disponer de su tiempo en cada una de mis dudas.

Al Dr. Rein van der Hoek, por creer en mí, en mi trabajo y darme la oportunidad de desarrollar mi proyecto de investigación con la gestión de recursos financieros.

A Rodrigo Granados, por brindarme su apoyo, protección y conocimiento en el desarrollo de la fase de campo.

Al personal de la lechería comercial del CATIE, Alejandro Molina, Bernardo Pereira, Alexander Calvo y Alfonso Sánchez por brindarme las herramientas, el espacio para aprender y desarrollar la fase de investigación en campo con su apoyo.

Al Centro internacional de agricultura tropical (CIAT), ya que sin su patrocinio no hubiese sido posible desarrollar mi proyecto de mi investigación.

A la Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos R.L., por el apoyo en la realización de los análisis bromatológicos.

Al programa de Becas Honduras 20/20, ya que sin su patrocinio la experiencia de Catie no hubiese sido posible.

A mis compañeros Catianos, amigos que se convirtieron en familia por apoyarme en todo momento.

## Contenido

<b>1. Introducción</b> .....	1
<b>2. Materiales y métodos</b> .....	3
2.1 Ubicación y periodo experimental.....	3
2.2 Especies forrajeras.....	3
2.3 Tratamientos.....	4
2.4 Variables evaluadas.....	5
2.4.1 Disponibilidad de biomasa .....	5
2.4.2 Calidad nutricional.....	6
2.4.3 Producción y componentes de la leche .....	6
2.5 Análisis estadístico.....	7
<b>3. Resultados</b> .....	9
3.1 Producción de biomasa .....	9
3.2 Componentes estructurales .....	14
3.3 Calidad nutricional .....	17
3.4 Producción y componentes de la leche .....	20
<b>4. Discusión</b> .....	22
4.1 Producción de biomasa .....	22
4.2 Componentes estructurales .....	24
4.3 Calidad nutricional .....	25
4.4 Producción y componentes de la leche .....	28
<b>5. Conclusiones</b> .....	30
<b>6. Recomendaciones</b> .....	30
<b>7. Bibliografía</b> .....	31
<b>8. Anexos</b> .....	39

## Índice de cuadros

<b>Cuadro 1.</b> Tratamientos utilizados en la evaluación productiva del pasto Cayman ( <i>Urochloa</i> híbrido cv. CIAT BRO2/1752) en sistemas silvopastoriles mejorados en el trópico húmedo de Costa Rica.....	4
<b>Cuadro 2.</b> Producción de biomasa seca (kg MS m <sup>-2</sup> ) en tres ciclos de cosecha del pasto Cayman ( <i>Urochloa</i> híbrido cv. CIAT BRO2/1752) en monocultivo (CM), para dos posiciones dentro del asocio con <i>Leucaena diversifolia</i> (CL1: CL2) y <i>Tithonia diversifolia</i> (CT1:CT2), en el trópico húmedo de Costa Rica.....	10
<b>Cuadro 3.</b> Componentes estructurales y relación hoja:tallo del pasto Cayman ( <i>Urochloa</i> híbrido cv. CIAT Bro2/1752) en monocultivo (CM), para dos posiciones dentro del asocio con <i>Leucaena diversifolia</i> (CL1: CL2) y <i>Tithonia diversifolia</i> (CT1:CT2) en el trópico húmedo de Costa Rica.....	15
<b>Cuadro 4.</b> Componentes estructurales (%) para la biomasa total de <i>Leucaena diversifolia</i> y <i>Tithonia diversifolia</i> en asocio con pasto Cayman ( <i>Urochloa</i> híbrido cv. CIAT Bro2/1752) en el trópico húmedo de Costa Rica.....	15
<b>Cuadro 5.</b> Calidad nutricional del pasto Cayman ( <i>Urochloa</i> híbrido cv. CIAT Bro2/1752) en monocultivo (CM), y para dos posiciones dentro del asocio con <i>Leucaena diversifolia</i> (CL1: CL2) y <i>Tithonia diversifolia</i> (CT1:CT2), en el trópico húmedo de Costa Rica. ....	17
<b>Cuadro 6.</b> Valores promedio de la calidad nutricional de la fracción comestible de <i>Leucaena diversifolia</i> y <i>Tithonia diversifolia</i> en asocio con pasto Cayman ( <i>Urochloa</i> híbrido cv. CIAT Bro2/1752) en el trópico húmedo de Costa Rica. ....	18
<b>Cuadro 7.</b> Calidad nutricional de la fracción comestible de <i>Leucaena diversifolia</i> y <i>Tithonia diversifolia</i> en asocio con pasto Cayman ( <i>Urochloa</i> híbrido cv. CIAT Bro2/1752) durante tres ciclos de cosecha en el trópico húmedo de Costa Rica. ....	19
<b>Cuadro 8.</b> Composición y contenido de nitrógeno ureico en leche en vacas cruzadas pastoreando pasto Cayman ( <i>Urochloa</i> híbrido cv. CIAT Bro2/1752) en monocultivo (T1) y en asocio con <i>Leucaena diversifolia</i> (T2) y <i>Tithonia diversifolia</i> (T3) en el trópico húmedo de Costa Rica.....	22

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Precipitación y temperatura (máxima, mínima y media) en Turrialba, Costa Rica durante el periodo que se desarrolló el estudio la evaluación del potencial productivo del pasto Cayman ( <i>Urochloa</i> híbrido cv.). ....	3
<b>Figura 2.</b> Producción de biomasa seca (kg MS m <sup>-2</sup> ) del pasto Cayman ( <i>Urochloa</i> híbrido cv. CIAT Bro2/1752) en monocultivo (CM), para dos posiciones dentro del asocio con <i>Leucaena diversifolia</i> (CL1: CL2) y <i>Tithonia diversifolia</i> (CT1:CT2), en el trópico húmedo.9	9
<b>Figura 3.</b> Producción de biomasa seca (kg MS ha <sup>-1</sup> ciclo) del pasto Cayman ( <i>Urochloa</i> híbrido cv. CIAT Bro2/1752) en monocultivo (T1), y en asocio con <i>Leucaena diversifolia</i> (T2) y <i>Tithonia diversifolia</i> (T3) en el trópico húmedo de Costa Rica.....	11
<b>Figura 4.</b> Producción de biomasa seca (kg MS ha <sup>-1</sup> ciclo) en tres ciclos de cosecha del pasto Cayman ( <i>Urochloa</i> híbrido cv. CIAT Bro2/1752) en monocultivo (T1), y en asocio con <i>Leucaena diversifolia</i> (T2) y <i>Tithonia diversifolia</i> (T3), en el trópico húmedo de Costa Rica. ....	12
<b>Figura 5.</b> Cobertura (%) del pasto Cayman ( <i>Urochloa</i> híbrido cv. CIAT Bro2/1752) en monocultivo (CM), para dos posiciones dentro del asocio con <i>Leucaena diversifolia</i> (CL1: CL2) y <i>Tithonia diversifolia</i> (CT1:CT2), en el trópico húmedo de Costa Rica. ....	13
<b>Figura 6.</b> Producción de biomasa seca total (kg MS planta <sup>-1</sup> ciclo <sup>-1</sup> ) de <i>Leucaena diversifolia</i> y <i>Tithonia diversifolia</i> en asocio con pasto Cayman ( <i>Urochloa</i> híbrido cv. CIAT Bro2/1752) en el trópico húmedo de Costa Rica.....	13

<b>Figura 7.</b> Producción de biomasa total seca (kg MS ha <sup>-1</sup> ) de <i>Leucaena diversifolia</i> y <i>Tithonia diversifolia</i> en asocio con pasto Cayman ( <i>Urochloa</i> híbrido cv. CIAT Bro2/1752) con densidad (3400 plantas ha <sup>-1</sup> ) en el trópico húmedo de Costa Rica.....	14
<b>Figura 8.</b> Producción de biomasa comestible (%) de <i>Leucaena diversifolia</i> y <i>Tithonia diversifolia</i> en asocio con pasto Cayman ( <i>Urochloa</i> híbrido cv. CIAT Bro2/1752) durante tres ciclos de cosecha en el trópico húmedo de Costa Rica. 2021.....	16
<b>Figura 9.</b> Producción de leche diaria (kg leche vaca <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> ) en vacas en pastoreo con pasto Cayman ( <i>Urochloa</i> híbrido cv. CIAT Bro2/1752) (T1), y en asocio con <i>Leucaena diversifolia</i> (T2) y <i>Tithonia diversifolia</i> (T3) en el trópico húmedo de Costa Rica.....	21

### Acrónimos y abreviaturas

AIC	Criterio de Información Akaike*
ANDEVA	Análisis de varianza
AOAC	Asociación oficial de químicos analíticos*
BIC	Criterio de Información Bayesiano
CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
CIAT	Centro Internacional de Agricultura Tropical
CNF	Carbohidratos no fibrosos
CV	Cultivar
DCA	Diseño completo al azar
ENL	Energía neta de lactancia
EM	Energía metabolizable
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura
FDA	Fibra detergente ácido
FDN	Fibra detergente neutro
GEI	Gases de efecto invernadero
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
MS	Materia seca
LSD	Diferencias Mínimas significativas*
MUN	Nitrógeno ureico en leche*
NIRS	Espectroscopia de infrarrojo cercano*
PC	Proteína cruda
ST	Sólidos Totales
SSP	Sistemas silvopastoriles
TND	Total de nutrientes digestibles

**\*Traducciones realizadas del inglés**

# Evaluación productiva del pasto Cayman (*Urochloa* híbrido cv. CIAT BRO2/1752) en sistemas silvopastoriles en el trópico húmedo de Costa Rica

David Lagos, Kenia David<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, Costa Rica.  
kenia.david@catie.ac.cr

## Resumen

Los forrajes son la principal y más económica fuente de alimentación para el ganado. La integración de gramíneas con especies arbustivas permite incrementar el consumo de forraje de mayor calidad nutricional. El objetivo de este estudio fue evaluar la producción de biomasa, calidad nutricional y el efecto en la producción y calidad de leche del pasto Cayman (*Urochloa* híbrido cv. CIAT BRO2/1752) en monocultivo y en asocio con *L. diversifolia* y *T. diversifolia* en el trópico húmedo de Costa Rica. La investigación se llevó a cabo en la lechería comercial del Centro Agronómico Tropical y Enseñanza (CATIE), entre los meses de diciembre 2020 y julio 2021. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBA) con una estructura tri-factorial de tratamientos, dadas por el factor forraje T1, T2 y T3 (Cayman, *T. diversifolia* y *L. diversifolia*), factor posición 1 y 2 (0.5 m y 2.5 m al centro de las leñosas) y el factor tiempo (tres ciclos de cosecha). Por otro lado, la producción diaria y calidad de leche se evaluó mediante un diseño completo al azar (DCA), con medidas repetidas en el tiempo (tres ciclos evaluados), utilizando 7 vacas *Bos taurus* x *Bos indicus* en cada uno de los tratamientos (T1, T2 y T3) evaluados. La producción de biomasa seca resultó mayor en los tratamientos en monocultivo (T1) y en asocio con *L. diversifolia* (T2). El contenido de proteína cruda (PC) en pasto Cayman aumentó en el asocio con *L. diversifolia*, el resto de las variables de calidad nutricional no fueron afectadas por los tratamientos ni sus posiciones. La producción de biomasa de las arbustivas fue similar ( $p>0.05$ ), sin embargo, *L. diversifolia* mostró mayor contenido PC (26.96 vs 18.49 %) y fracción comestible (77.39 vs 50.11 %) que *T. diversifolia*. La producción diaria de leche (22.89 kg leche vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>), contenido de lactosa (4.89 %) y la concentración de nitrógeno ureico en leche (6.76 mg dL<sup>-1</sup>) fue mayor en T2. La incorporación de *L. diversifolia* en el sistema mejora la calidad nutricional del pasto Cayman, además aporta mayor biomasa comestible e incrementa la producción de leche diaria.

**Palabras claves:** *Leucaena diversifolia*, *Tithonia diversifolia*, calidad nutricional, silvopastoril, fracción comestible.

# Productive evaluation of Cayman grass (*Urochloa* hybrid cv. CIAT BRO2/1752) in silvopastoral systems in the humid tropics of Costa Rica

David Lagos, Kenia David<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, Costa Rica. [Kenia.david@catie.ac.cr](mailto:Kenia.david@catie.ac.cr)

## Abstract

In Costa Rica, forages are the main and most cost-effective source of livestock feed. The integration of especially leguminous shrubs with grasses allows to increase the intake of better-quality forages. The objective of this study was to evaluate the responses on biomass production, nutritional quality and milk production and quality to the use of Cayman grass (*Urochloa* hybrid cv. CIAT BRO2/1752) as a pure stand and in association with *L. diversifolia* and *T. diversifolia* in the humid tropics of Costa Rica. The research was carried out at the commercial dairy farm of the Tropical Agricultural Research and Higher Education Center (CATIE) between December 2020 and July 2021. A randomized complete block design (RCBD) was a factorial arrangement of three factors: forage systems (Cayman grass in monoculture and associated to *T. diversifolia* and *L. diversifolia*, T1, T2 and T3, respectively), two positions (at 0.5 m and 2.5 m from the center of the shrub lines), and three harvest cycles. Milk production and composition were evaluated using a complete randomized design (CRD) with repeated measures in three cycles, using seven *Bos taurus* x *Bos indicus* cows grazing in each of the forage systems. Cayman grass in monoculture (T1) and associated with *L. diversifolia* (T2) produced higher dry matter yields. The Crude protein (CP) content of Cayman grass was higher in a mixture with *L. diversifolia*. Forage systems and position with respect to the shrub lines did not affect other nutritive value parameters in Cayman grass. Both shrubs did not differ in biomass yields, however, *L. diversifolia* showed higher CP content (26.96 vs 18.49%) and edible fraction (77.39 vs 50.11 %) than *T. diversifolia*. Daily milk production (22.89 kg cow<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>), lactose content (4.89 %) and milk urea nitrogen concentration (6.76 mg dL<sup>-1</sup>) were higher for the Cayman grass – *L. diversifolia* association. We conclude that the inclusion of *L. diversifolia* in mixture with Cayman grass help to improve the nutritional quality of the grass, provides more edible biomass to the animals and increases milk production.

**Key words:** *Urochloa* hybrid, Cayman grass, *Leucaena diversifolia*, *Tithonia diversifolia*, nutritional quality, silvopastoral system

## 1. Introducción

El incremento demográfico esperado para las próximas tres décadas debe resultar en un incremento en la demanda de productos alimenticios de origen animal (Gerber *et al.* 2013), al mismo tiempo que se incrementará el consumo per cápita (Delgado *et al.* 1999), lo que conlleva a la búsqueda de la máxima eficiencia productiva y consecuentemente, la intensificación de los sistemas productivos, buscando aumentar la productividad (leche y carne), con menos animales y área para satisfacer la demanda, cada vez en menor área disponible (Styles *et al.* 2018).

En Costa Rica, el 79% de las fincas destinadas a la producción de leche utilizan el pastoreo como principal componente de los sistemas de alimentación (INEC 2019), evidenciando que la intensificación de la producción ganadera se ha basado en el uso eficiente de las pasturas, esto en busca de lograr la máxima productividad por área, reducir los costos de producción, mejorar la eficiencia en el uso de los recursos y buscar convertirlos en sistemas sostenibles resilientes al cambio climático (Pezo 2018).

Los sistemas de lechería especializada y doble propósito, representan el 15.4 % y 21.7 % respectivamente (INEC 2019) del inventario ganadero (1,6 millones de animales) de Costa Rica. Muchos de estos sistemas se ubican en condiciones de trópico húmedo, donde no existen restricciones de humedad y permiten obtener altas producciones de biomasa durante gran parte del año (WingChing-Jones *et al.* 2008), permitiendo alto aporte de biomasa para los animales y dando oportunidad a incrementar la capacidad de carga en las pasturas.

Los forrajes son la principal y más económica fuente de alimentación para el ganado (Rosales & Pinzón 2005), no obstante, se ha puesto mayor interés a la cantidad de biomasa dejando de lado la calidad nutricional, dando como resultado un bajo consumo por parte de los animales (Lezcano *et al.* 2012); demandando de suplementos externos para mantener la producción, al mismo tiempo que se compromete la rentabilidad del sistema (Lezcano *et al.* 2012). El interés por la intensificación sostenible debe basarse en un manejo adecuado del recurso forrajero como herramienta principal para lograr sistemas de producción competitivos, sostenibles y de bajas emisiones netas de carbono (Manzetto *et al.* 2020).

La transición hacia la intensificación sostenible de los sistemas de producción de ganado bovino requiere incorporar prácticas que contribuyan al mejor uso de las especies forrajeras, así como leguminosas y no leguminosas que cumplan un rol estratégico en el aporte de nitrógeno al suelo y a la dieta, y consecuentemente, mejorar el valor nutritivo de la dieta de los animales, con menos emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (Gaviria-Uribe *et al.* 2020). Diversos estudios evidencian que los sistemas silvopastoriles (SSP) son una alternativa para el desarrollo sostenible del sector agropecuario (Milera 2013).

La asociación de árboles, arbustivas y pastos mejorados representan una alternativa promisoriosa para la producción animal en el trópico (López-Vigoa 2017; Vandermeulen *et al.* 2018). Estas asociaciones producen mayor cantidad de biomasa de alta calidad durante todo el año (Lamela *et al.* 2015b; Alonso 2011) y se logra mejor balance de nutrientes en los animales. Como resultado de estos aportes se obtienen mejoras en condición corporal y una alta respuesta inmune, junto a un entorno favorable, que permitirá incrementar el bienestar animal y con ello, una mayor resiliencia (López-Vigoa 2017).

Los SSP son considerados alternativas productivas de ganar-ganar teniendo como objetivo principal incrementar la productividad de los sistemas pecuarios (Ibrahim *et al.* 2001). Además, se aprovechan los beneficios de mitigación en la reducción de emisiones de GEI (Chacón *et al.* 2018) y se incrementa el secuestro de carbono en la biomasa aérea y sistema radicular de los árboles, arbustos y las pasturas (Villanueva & Ibrahim 2002). También contribuye a la resiliencia ante el cambio climático a través de las condiciones micro climáticas que los árboles y arbustos proveen a los animales y las pasturas (Restrepo *et al.* 2014; Montagnini *et al.* 2013; Andrade e Ibrahim 2003; Ibrahim *et al.* 2006).

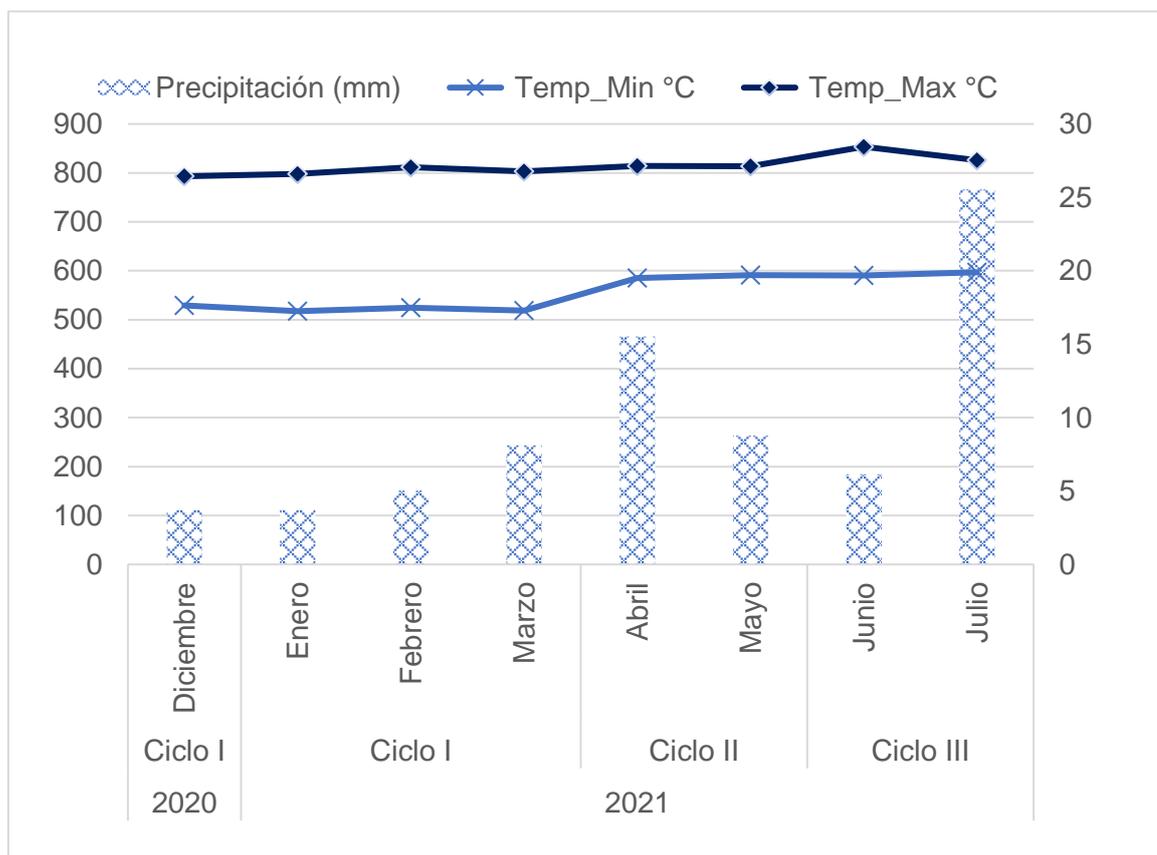
En las gramíneas al igual que en la mayoría de las demás plantas utilizadas en la alimentación animal, la producción de biomasa está estrechamente relacionada con el régimen o distribución de las precipitaciones, siendo el recurso hídrico uno de los principales factores que afectan su desarrollo (Martin *et al.* 2018). El pasto Cayman (*Urochloa* híbrido cv. CIAT BRO2/1752) constituye una alternativa por su tolerancia a altos niveles de humedad en el suelo, alta producción de biomasa y altos contenidos proteicos (Arango *et al.* 2016; CIAT 2012).

La integración con otras especies leguminosas y no leguminosas como la *Leucaena diversifolia* y *Tithonia diversifolia*, presentan bondades relacionadas al alto consumo de forrajes de mayor calidad nutricional, al mismo tiempo que se asegura la persistencia de las pasturas y consecuentemente se logra la sostenibilidad a largo plazo con relación a la capacidad de fijación de nitrógeno atmosférico (Palma & Gonzales-Rebeldes 2018). El objetivo de este estudio fue evaluar la producción de biomasa, calidad nutricional y el efecto en la producción y calidad de leche del pasto Cayman (*Urochloa* híbrido cv. CIAT BRO2/1752) cultivado en monocultivo y en asocio con *L. diversifolia* y *T. diversifolia* en el trópico húmedo de Costa Rica.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1 Ubicación y periodo experimental

El estudio se realizó entre diciembre 2020 y agosto 2021 en la finca comercial del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), ubicada a 640 msnm en Turrialba, provincia de Cartago, Costa Rica. La precipitación media anual es de 2600 mm con temperatura promedio de 23 °C (Figura 1).



**Figura 1.** Precipitación y temperatura (máxima, mínima y media) en Turrialba, Costa Rica durante el periodo que se desarrolló el estudio la evaluación del potencial productivo del pasto Cayman (*Urochloa* híbrido cv.).

### 2.2 Especies forrajeras

Las condiciones de alta precipitación en la zona de Turrialba fueron el factor más influyente para la selección de las especies forrajeras en esta investigación. El pasto Cayman es un híbrido mejorado para adaptarse a altos niveles de humedad en el suelo, alta producción de biomasa y con niveles altos de proteína (CIAT 2012). Por otro lado, la selección de las especies forrajeras estuvo influenciado por las condiciones edáficas, especialmente el pH del suelo (5.5 H<sub>2</sub>O), la especie *L. Leucocephala* no es la mejor opción (Pérez-Guerrero 1985), por lo tanto, en estas condiciones se espera que *L. diversifolia* sea una mejor opción (Hutton 1990; Argel *et al.* 1998; Palma & Gonzales 2018). La selección de *T. diversifolia* fue de acuerdo con el amplio rango de adaptación de esta especie en zonas tropicales, tolerando condiciones de acidez y baja fertilidad en el suelo (Londoño *et al.* 2019), similares a las de este estudio.

El establecimiento del pasto Cayman se realizó en noviembre del 2018. Se emplearon prácticas de labranza que incluyeron una pasada de arado y dos pasadas de rastra, seguidamente, se realizó la siembra al voleo utilizando 8 kg de semilla por hectárea, distribuida de forma manual, posterior a esto, se tapó la semilla con una rama jalada por el tractor. En el establecimiento no se aplicaron fertilizantes, ni se utilizó ningún tipo de enmienda. Para ambos socios, la densidad de siembra del pasto Cayman fue igual al de monocultivo.

En todos los bloques, se realizó primero la siembra de pasto Cayman y posteriormente, en septiembre de 2019, se sembraron las leñosas. En las parcelas de 2500 m<sup>2</sup> correspondientes a cada tratamiento se sembraron entre cuatro y nueve surcos a doble hilera de plantas de *Leucaena diversifolia* y *Tithonia diversifolia*, con distanciamiento de 5 m entre surcos, 1 m entre plantas y 1 m entre cada hilera dentro de cada surco, obteniendo densidades de siembra que van desde 576 a 648 plantas por parcela (2500 m<sup>2</sup>), equivalente a 2304 y 2592 plantas por hectárea.

Previo a la siembra de las leñosas, se realizó la aplicación de herbicida quemante (Gramoxone 20 SL) sobre el pasto Cayman ya establecido, aplicado en franjas de 1.5 metros de ancho y correspondiendo cada franja a los respectivos surcos establecidos para cada leñosa forrajera. La siembra de *T. diversifolia* se realizó en callejones utilizando material vegetativo (estacas), colocando dos estacas en equis (X) por punto de siembra; para *L. diversifolia* la siembra se realizó utilizando plantas en bolsa plástica que fueron sembradas y manejadas previamente en vivero, la siembra en vivero fue mediante semilla sexual.

Para las leñosas se consideró un periodo de establecimiento de 12 meses, al final de este periodo se realizó un corte de uniformización a 0.40 m de altura sobre la base del suelo para *T. diversifolia* y a 1.5 m para *L. diversifolia*, ambas especies fueron podadas utilizando sierra manual. La uniformización del pasto Cayman se realizó con motosegadora a una altura de 10 cm de la base del suelo. Las parcelas de 2500 m<sup>2</sup> recibieron dos aplicaciones de fertilizante Nitrato de amonio (34 % N), la primer aplicación 30 días antes del primer muestreo con una dosis de 35 kg de N ha<sup>-1</sup>, la segunda aplicación se realizó entre el segundo y tercer muestreo con 17 kg N ha<sup>-1</sup>.

### 2.3 Tratamientos

En la evaluación de la producción de biomasa, calidad nutricional y composición estructural de las especies forrajeras se utilizaron cuatro bloques distribuidos en un diseño de bloques completos al azar (BCA). Cada uno de los tres tratamientos (Cuadro 1) se asignó de forma aleatoria dentro de cada bloque, cada tratamiento dentro del bloque corresponde a un área de 2500 m<sup>2</sup>.

**Cuadro 1.** Tratamientos utilizados en la evaluación productiva del pasto Cayman (*Urochloa* híbrido cv. CIAT BRO2/1752) en sistemas silvopastoriles mejorados en el trópico húmedo de Costa Rica.

Tratamiento	ID
Monocultivo pasto Cayman	T1
Pasto Cayman + <i>Leucaena diversifolia</i>	T2
Pasto Cayman + <i>Tithonia diversifolia</i>	T3

El diseño de bloques completos al azar (DBA) se realizó mediante una estructural trifactorial de tratamientos, dadas por el factor forraje, con tres niveles que corresponden a las especies forrajeras (Cayman, *T. diversifolia* y *L. diversifolia*), el factor posición (a 0.5 m y 2.5 m del centro de la hilera de leñosas) y el factor tiempo (tres ciclos de cosecha). En T2 y T3 se definió un arreglo de parcelas divididas, donde el tratamiento forraje (gramínea

+ leñosa) se encuentra en la parcela principal dentro de cada bloque y las dos posiciones (0.5 m y a 2.5 m al centro) son las sub-parcelas que representan la posición y el tiempo de cosecha. El análisis de la producción de biomasa, calidad nutricional, componentes estructurales del pasto y las arbustivas se realizó conforme a las posiciones dentro de T2 y T3. Dentro de T2 (asocio con *L. diversifolia*) se definió CL1 (0.5 m) y CL2 (2.5 m al centro) como las posiciones a evaluar dentro del tratamiento, de igual manera para T3 (asocio con *T. diversifolia*) se definió CT1 (0.5 m) y CT2 (2.5 m al centro), comparadas estas posiciones respecto al monocultivo (T1).

La producción diaria y composición de la leche fue evaluada mediante un diseño completo al azar (DCA) con medidas repetidas en el tiempo que corresponden a los tres ciclos evaluados. Cada vaca representó una unidad experimental en cada tratamiento dentro de cada ciclo. Las vacas fueron manejadas en tres grupos, cada grupo de vacas representó a cada uno de los tratamientos (T1, T2 y T3) evaluados.

## 2.4 Variables evaluadas

### 2.4.1 Disponibilidad de biomasa

El muestreo para la estimación de biomasa en los tres tratamientos y para las tres especies forrajeras se realizó en forma sistemática, uno o dos días previo al ingreso de las vacas al pastoreo. Para el tratamiento en monocultivo (T1) se seleccionaron 16 puntos en forma de zig-zag, con los que se formó una muestra compuesta. Cada muestra se colectó utilizando un marco de 0.5 m x 0.5 m (0.25 m<sup>2</sup>) (López-Guerrero 2011); el forraje se cosechó a una altura de 10 cm sobre la base del suelo y fue pesado en fresco, posteriormente, con una balanza digital.

El pasto Cayman, en asocio con las leñosas, fue muestreado seleccionando en forma de zig-zag 16 puntos de muestreo, en el recorrido se obtuvieron muestras a 0.5 m de las hileras (8 muestras) y en el punto medio entre surcos que corresponde a 2.5 m al centro (8 muestras). De cada uno de los dos puntos de muestreo (a 0.5 m de las hileras y 2.5 m al centro) se obtuvo una muestra compuesta por posición en cada tratamiento, en cada bloque. Las muestras fueron pesadas en campo con balanza digital y de cada muestra compuesta se separaron dos muestras de 1 kg, una muestra fue enviada al laboratorio para el análisis bromatológico en la Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos RL, la otra muestra se utilizó para la estimación de la variable relación hoja:tallo.

Previo a la cosecha del pasto Cayman, tanto en los tratamientos como en las posiciones, y utilizando el mismo marco (0.5 x 0.5 m = 0.25 m<sup>2</sup>), se estimó de manera visual la cobertura del pasto. El marco fue dividido en cuatro cuadrantes para tener un mejor estimado de la superficie que ocupada por el pasto dentro del marco, expresado esto en porcentaje (Martínez-Méndez *et al.* 2016).

En las leñosas se muestreó seleccionando una planta cada 8 metros por cada hilera, sin tomar en cuenta los límites de cada parcela para reducir el efecto de borde. En cada tratamiento (T2 y T3) dentro de cada bloque se muestrearon 8 plantas, siguiendo un recorrido de norte a sur en cada surco. Las plantas de *L. diversifolia* y *T. diversifolia* fueron cosechadas cada 60 días a una altura de corte 1.5 m y 0.4 m, respectivamente. Las muestras se pesaron por separado con una balanza digital para las estimaciones de la biomasa total.

De las 8 plantas muestreadas se seleccionó de forma aleatoria 5 plantas por tratamiento en cada bloque. Las 5 plantas se utilizaron para separar la biomasa fresca de cada una en tres fracciones: Fracción fina (Hojas (HF) y Tallos (TF) con diámetro menor a 5 mm), Fracción gruesa (Tallos (TG) mayores a 5 mm) y material senescente (García *et al.* 2008; Bacab *et al.* 2012; Rodríguez *et al.* 2001). Las fracciones se pesaron por separado y de

cada fracción se tomó una muestra de 200 gramos con la que se estimó el contenido de materia seca en un horno a 60 °C durante 48 horas; el resto de las muestras se utilizó para formar la muestra compuesta por la fracción comestible (HF y TF) que fue enviada al laboratorio de bromatología de la Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos RL. La separación de las fracciones se utilizó para estimar las variables relación hoja:tallo (Lombo 2012) y biomasa comestible. La biomasa comestible se estimó mediante la suma de las fracciones HF y TF, una vez que estas fueron secadas (Pérez 2012; Rodríguez *et al.* 2001; Lombo 2012; Razz *et al.* 1999).

Las fracciones utilizadas (HF y TF), para las estimaciones de la fracción comestible, se mezclaron en fresco para formar una muestra compuesta, de esta muestra se separó 1 kg que fue enviado al laboratorio para realizar los análisis bromatológicos de calidad nutricional. De la biomasa total cosechada se separó una muestra (1 kg) que fue secada en un horno a 60 °C durante 48 horas y con los contenidos de materia seca (%) reportados se realizó la extrapolación de los datos para estimar la producción de biomasa (kg MS planta<sup>-1</sup>) y (kg MS ha<sup>-1</sup>).

#### 2.4.2 Calidad nutricional

Mediante el análisis bromatológico se realizó la estimación de las variables Materia Seca (MS %), Proteína Cruda (PC %), Fibra Detergente Neutro (FDN %), Fibra Detergente Ácido (FDA %) y Lignina (Lig. %). Además, mediante ecuaciones (NRC 2001) se estimó variables del contenido energético expresadas como Total de Nutrientes Digestibles (TND %), Energía metabolizable (EM Mcal Kg<sup>-1</sup> MS), Energía neta de lactancia (ENL Mcal Kg<sup>-1</sup> MS) y Carbohidratos no fibrosos (CNF %); estas variables fueron incluidas como indicadores de calidad nutricional.

Las muestras correspondientes al pasto Cayman se analizaron mediante NIRS (Espectroscopia de Infrarrojo Cercano, por sus siglas en inglés) utilizando una curva con calibración específica (Foss NIRS DS2500F) para la categoría de forrajes. El análisis de las muestras de *L. diversifolia* y *T. diversifolia* fue llevado a cabo mediante química húmeda para MS, PC (AOAC 1990) y el contenido de FDN, FDA y Lig. (Van Soest *et al.* 1991). Todas las muestras fueron enviadas en fresco al laboratorio de bromatología de la Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos RL.

#### 2.4.3 Producción y componentes de la leche

Se utilizaron vacas con composición racial 75% *Bos taurus* y 25% *Bos indicus*, como *Bos taurus* se incluyó las razas Jersey y Holstein, y como *Bos indicus* las razas Sahiwal y Gyr; que estuvieron entre 2 y 5 lactancias y entre los 40 y 220 días en lactancia (DEL). Las vacas fueron suplementadas de manera individual previo a cada ordeño y antes de ingresar a la sala de espera, la cantidad de suplemento suministrada con base en la producción de leche diaria, a razón de 1 kg alimento balanceado por cada 3 kg leche. El suplemento estuvo conformado por la mezcla de alimento balanceado comercial Vap Feed™ (22 % PC y 1.8 Mcal kg<sup>-1</sup> MS ENL), 1.3 kg de pulpa de cítrico paletizada (Citrocom® 6.2 % PC y 1.9 Mcal kg<sup>-1</sup> MS ENL), 0.5 kg de harina de soya (48.5 % PC) y 0.1 kg de sales minerales.

Cada uno de los tres grupos estuvo conformado por siete vacas que ingresaron por separado a cada tratamiento (T1, T2 y T3) evaluado. Previo al periodo de adaptación y en cada uno de los tres ciclos, durante tres días consecutivos antes del ingreso a las parcelas experimentales se midió la producción diaria de cada vaca seleccionada, y el promedio de esas observaciones se usó como covariable. Durante el periodo de evaluación, las vacas ingresaron de forma simultánea a cada uno de los tratamientos en las parcelas de 2500 m<sup>2</sup>.

Cada parcela de 2500 m<sup>2</sup> tuvo un periodo de ocupación de 3.5 días, estas parcelas fueron divididas en tres partes iguales utilizando una cerca móvil con cuerda electrificada, esto permitió un mejor aprovechamiento y gestión de la pastura. Se utilizaron dos parcelas para el periodo de acostumbramiento y dos parcelas para el periodo de evaluación. Posterior al ciclo de pastoreo de 14 días, se contabilizó el periodo de descanso de 60 días requeridos para la recuperación de la planta en sistemas de ramoneo hasta el próximo ciclo de pastoreo (Mejía-Díaz *et al.* 2017; Ochoa 2011).

Previo al periodo de toma de datos las vacas tuvieron acceso a cada tipo de pastura por siete días como periodo de acostumbramiento (Jeffery 1970; Mojica-Rodríguez *et al.* 2019; Rivera *et al.* 2015; Stobbs & Sandland 1972). Posterior al periodo de acostumbramiento se tuvieron otros siete días para evaluación. Durante este se midió la producción de leche por vaca en ambos ordeños (AM/PM) y la suma de estos se registró como la producción. La medición se realizó utilizando los medidores incorporados al sistema de ordeño (DeLaval®).

La calidad y composición láctea se determinó mediante el envío de una muestra de leche de 100 ml para cada vaca, tomada día de por medio (días 2, 4 y 6) dentro del periodo de evaluación. Las muestras fueron colectadas en recipientes estériles en cada ordeño (AM/PM) y cada muestra enviada para análisis corresponde a la mezcla compuesta por ambos ordeños, 60 mL en AM y 40 mL en PM. Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Calidad de Leche de la Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos RL y los componentes lácteos analizados corresponden a grasa (%), proteína (%), lactosa (%) y Sólidos totales (%); también se analizó el contenido de nitrógeno ureico en leche (MUN mg dL<sup>-1</sup>), los análisis se efectuaron con el equipo Milko Scan FT-1. Las muestras fueron refrigeradas inmediatamente después de colectadas, manteniendo la cadena de frío hasta la llegada al laboratorio.

## 2.5 Análisis estadístico

Los datos se analizaron mediante el software de análisis estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.* 2019) utilizando la técnica de Modelos Lineales Generales y Mixtos (MLGM), las diferencias estadísticas se estimaron mediante análisis de varianza (ANDEVA) para los efectos principales (tratamiento y ciclo de cosecha) y su interacción. Las diferencias estadísticas fueron comparadas empleando LSD Fisher como prueba de separación de medias, utilizando un nivel de significancia  $p < 0.05$ .

El análisis se realizó mediante un diseño de bloques completos al azar (DBA) con estructura tri-factorial de tratamientos. Dentro de la parcela principal se ubica el factor forraje con tres niveles que corresponden a las especies forrajeras (*Cayman*, *T. diversifolia* y *L. diversifolia*). En T2 y T3 se definió un arreglo de parcelas divididas, donde el tratamiento forraje se encuentra en la parcela principal dentro de cada bloque y las dos posiciones (0.5 m y a 2.5 m al centro) son las sub-parcelas que representan la posición y el tiempo de cosecha, descrito por el siguiente modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + F_i + P_j + T_k + FP_{ij} + FT_{ik} + PT_{jk} + FPT_{ijk} + \beta_l + Pp_{il} + Sp_{il} + \epsilon_{ijkl} \sim N(0, \sigma^2)$$

donde:

$Y_{ijk}$	Producción de biomasa total
$\mu$	Media general
$F_i$	Efecto del i-ésima Forrajera (i=Cayman, <i>T. diversifolia</i> y <i>L. diversifolia</i> ) -
$P_j$	Efecto de la j-ésima posición
$T_k$	Efecto de la k-ésima factor tiempo (k= tres ciclos de cosecha)
$FP_{ij}$	Efecto de la interacción de la i-ésima forrajera en la j-esima posición
$FT_{ik}$	Efecto de la interacción de la i-ésima forrajera en el k-ésimo tiempo
$PT_{jk}$	Efecto de la interacción de la j-ésima posición en el k-ésimo tiempo

$FPT_{ijk}$  Efecto de la interacción de la i-ésima forrajera en la j-ésima posición en el k-ésimo Tiempo  
 $\beta_i$  Efecto aleatorio del l-ésimo bloque  
 $Pp_{il}$  Efecto aleatorio de la i-ésima forrajera en el l-ésimo bloque (error "A" de la forrajera)  
 $Sp_{j(ii)}$  Efecto subparcela de la j-ésima posición (error "B" para posición)  
 además,  
 $\beta_i$  Efecto de bloque  $\sim N(0, \sigma^2_\beta)$   
 $Pp_{il}$  Efecto de parcela principal  $\sim N(0, \sigma^2_{pp})$   
 $Sp_{j(ii)}$  Efecto de subpacela  $\sim N(0, \sigma^2_{sp})$   
 $\epsilon_{ijkl}$  Error asociado a la ijkl-ésima observación de forma normal e independiente con esperanza cero y varianza  $\sigma^2$ .

En el diseño de parcelas divididas y medidas repetidas en el tiempo para las forrajeras donde se evaluó la producción de biomasa y calidad nutricional, se probaron distintas estructuras para la matriz de varianzas y covarianzas y la estructura del error, y el mejor modelo se seleccionó utilizando el Criterio de Información de Akaike (AIC) y el Criterio de Información Bayesiano (BIC).

El análisis de los datos incluyó los efectos principales correspondiente al tratamiento y a las dos posiciones de muestreo dentro de los asociados con las arbustivas. Para el análisis de correlación entre cobertura (%) y producción de biomasa se utilizó el coeficiente de Spearman.

La producción diaria y composición de la leche fue evaluada mediante un diseño completo al azar (DCA) con medidas repetidas en el tiempo, que corresponden a los tres ciclos evaluados. El peso vivo (kg), días en lactancia (DEL) y la producción inicial se incluyeron como covariables para explicar el modelo según AIC y BIC. La producción inicial fue la covariable que mejor explicó el ajuste del modelo, por lo que la producción diaria de leche fue corregida por esta covariable. El análisis fue descrito por el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + F_i + T_j + FT_{ij} + V_k + \epsilon_{ijk}, \sim N(0, \sigma^2)$$

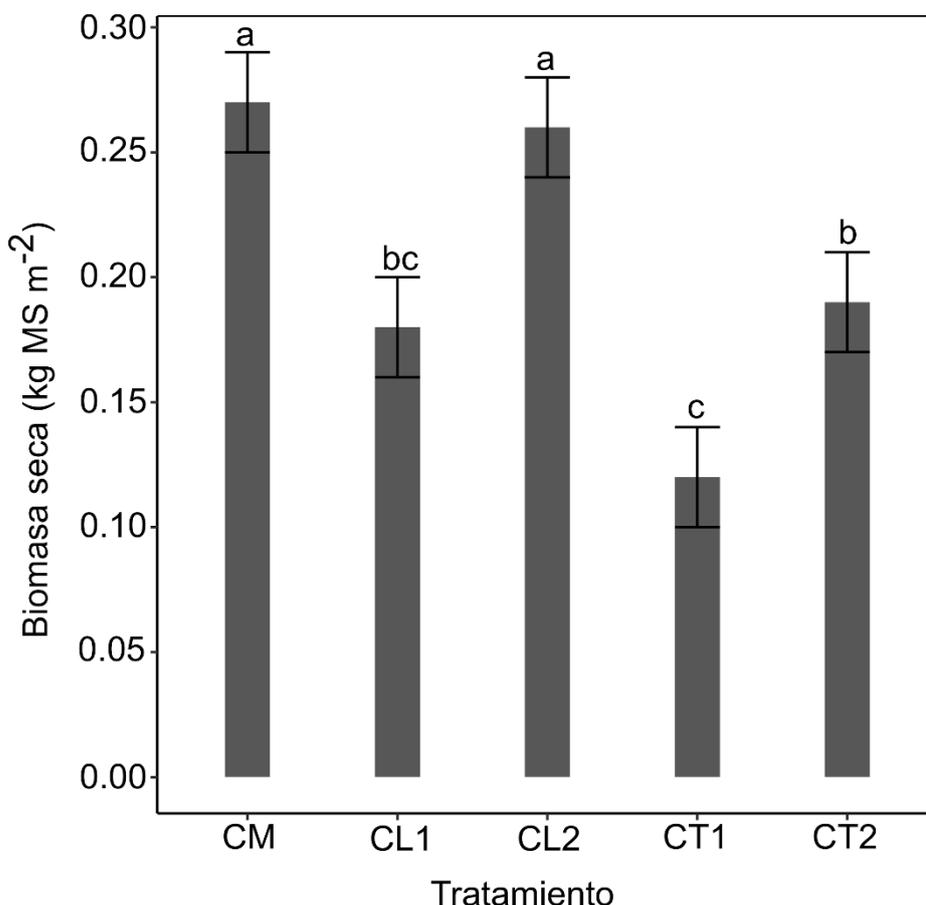
donde:

$Y_{ijk}$  Producción de leche  
 $\mu$  Media general  
 $F_i$  Efecto de la i-ésima forrajeras (i=Cayman, *T. diversifolia* y *L. diversifolia*)  
 $T_j$  Efecto del j-ésimo tiempo  
 $FT_{ij}$  Efecto de la interacción de la i-ésima forrajera en el j-ésimo tiempo  
 $V_k$  Efecto aleatorio de la k-esima vaca que es el sujeto en las medidas repetidas  
 $\epsilon_{ijk}$  Error asociado a la ijk-ésima observación de forma normal e independiente con esperanza cero y varianza  $\sigma^2$ .

### 3. Resultados

#### 3.1 Producción de biomasa

El tratamiento y el ciclo de cosecha influyeron sobre la producción de biomasa seca por metro cuadrado y por hectárea del pasto Cayman (Anexo 1). La mayor producción de biomasa seca ( $\text{kg MS m}^{-2}$ ) se obtuvo en los tratamientos de monocultivo (CM) y la posición dos del asocio con *L. diversifolia* (CL2) sin diferir entre ellos ( $p>0.05$ ). La posición CL1 resultó significativamente menor ( $p<0.05$ ) respecto a las que mostraron mayor producción (CM y CL2), sin mostrar diferencias con el asocio de *T. diversifolia* en ambas posiciones (CT1 y CT2). La posición tuvo un efecto significativo ( $p<0.05$ ) sobre la producción de biomasa seca en ambos socios, la posición dos fue superior a la posición uno en 30% y 36%, en los socios de *L. diversifolia* y *T. diversifolia*, respectivamente (Figura 2).



**Figura 2.** Producción de biomasa seca ( $\text{kg MS m}^{-2}$ ) del pasto Cayman (*Urochloa* híbrido cv. CIAT BRO2/1752) en monocultivo (CM), para dos posiciones dentro del asocio con *Leucaena diversifolia* (CL1: CL2) y *Tithonia diversifolia* (CT1:CT2), en el trópico húmedo de Costa Rica.

Posición 1: a 0.5 m de las arbustivas; Posición 2: a 2.5 m de las arbustivas. Medias de tratamientos con letras diferentes difieren significativamente ( $p<0.05$ ) según la prueba de medias LSD Fisher.

Las diferencias en producción de biomasa seca entre los ciclos de cosecha evaluados resultaron significativas ( $p<0.05$ ) en el tratamiento de monocultivo (CM) y la posición dos del asocio con *L. diversifolia* (CL2). En el ciclo I (marzo-2021) se obtuvo la menor producción de biomasa seca, siendo esta producción significativamente menor ( $p<0.05$ ) respecto a los ciclos II (Mayo 2021) y III (Julio-2021). Entre los ciclos II y III no se encontraron diferencias significativas ( $p>0.05$ ). El resto de tratamientos (CL1, CT1 y CT2)

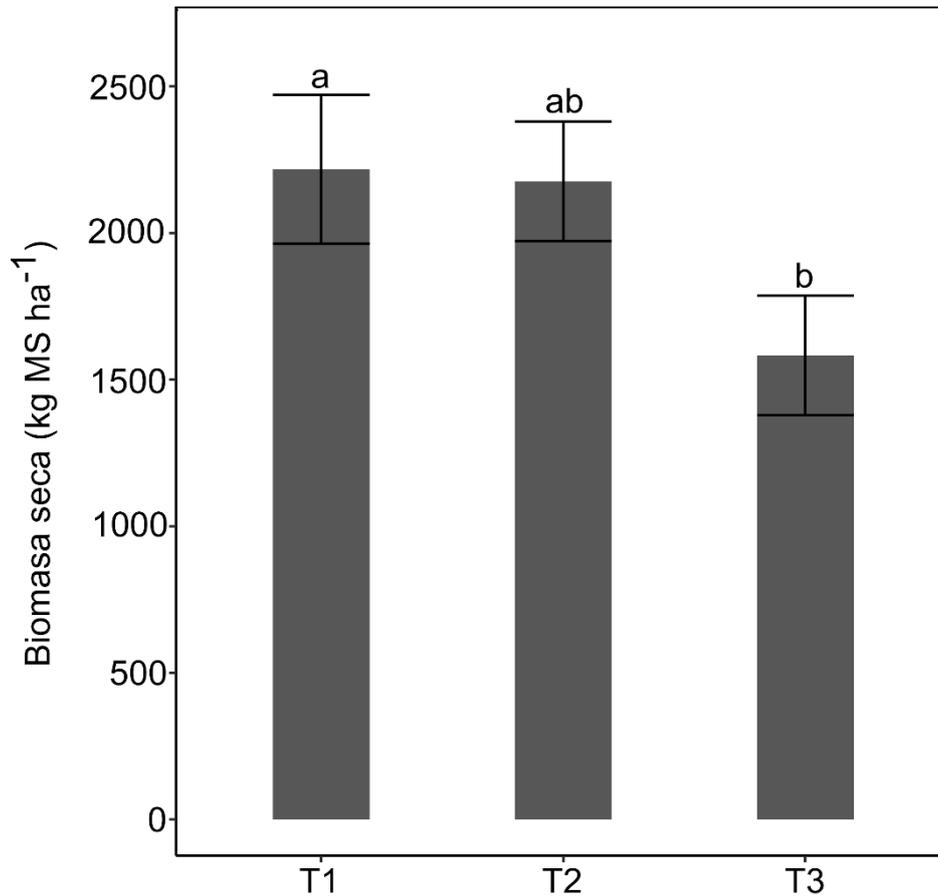
no mostró diferencias significativas ( $p>0.05$ ) en la producción de biomasa seca entre ciclos de cosecha (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Producción de biomasa seca ( $\text{kg MS m}^{-2}$ ) en tres ciclos de cosecha del pasto Cayman (*Urochloa* híbrido cv. CIAT BRO2/1752) en monocultivo (CM), para dos posiciones dentro del asocio con *Leucaena diversifolia* (CL1: CL2) y *Tithonia diversifolia* (CT1:CT2), en el trópico húmedo de Costa Rica.

Biomasa seca			
Medias $\pm$ error estándar			
	I (Marzo-2021)	II (Mayo-2021)	III (Julio-2021)
CM	0.19 $\pm$ 0.03 <sup>Ab</sup>	0.33 $\pm$ 0.03 <sup>Aa</sup>	0.29 $\pm$ 0.03 <sup>ABa</sup>
CL1	0.15 $\pm$ 0.03 <sup>ABb</sup>	0.21 $\pm$ 0.03 <sup>BCb</sup>	0.17 $\pm$ 0.03 <sup>Cb</sup>
CL2	0.16 $\pm$ 0.03 <sup>ABb</sup>	0.28 $\pm$ 0.03 <sup>ABa</sup>	0.33 $\pm$ 0.03 <sup>Aa</sup>
CT1	0.11 $\pm$ 0.03 <sup>Bc</sup>	0.13 $\pm$ 0.03 <sup>Cc</sup>	0.14 $\pm$ 0.03 <sup>Cc</sup>
CT2	0.15 $\pm$ 0.03 <sup>ABd</sup>	0.23 $\pm$ 0.03 <sup>Bd</sup>	0.21 $\pm$ 0.03 <sup>BCd</sup>

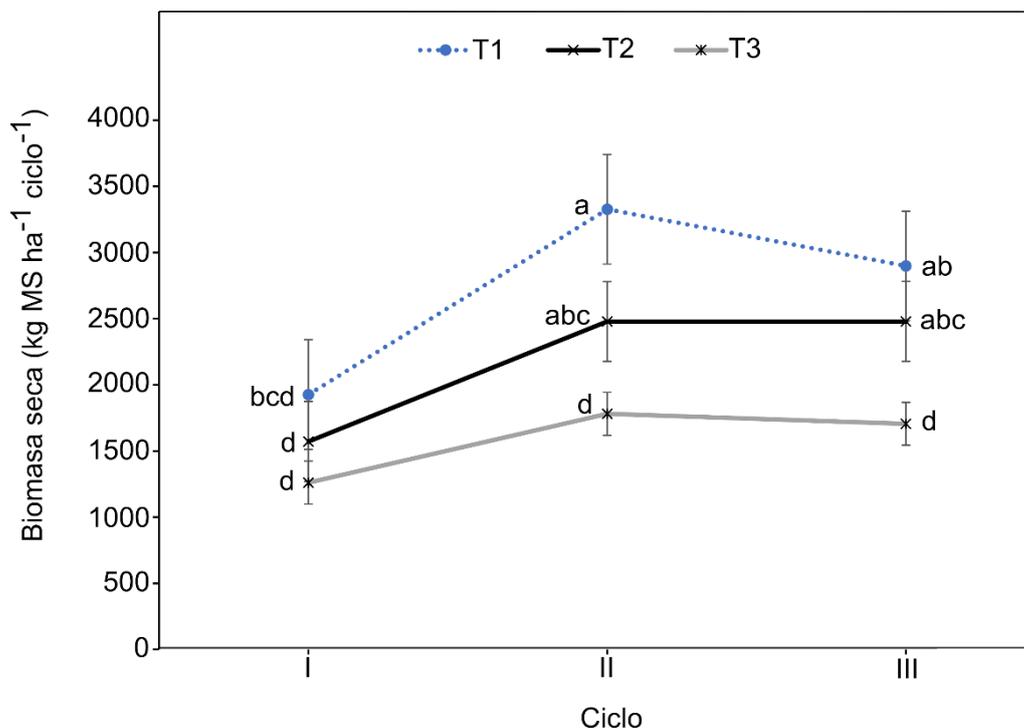
I, II, III: Ciclos de cosecha. Posición 1: a 0.5 m de las arbustivas; Posición 2: a 2.5 m de las arbustivas. ABC: diferente literal (mayúsculas) en cada columna, indican diferencia ( $p<0.05$ ); abc: diferente literal (minúsculas) en cada fila, indican diferencia ( $p<0.05$ ), Según la prueba de medias LSD Fisher.

El rendimiento promedio por hectárea de biomasa seca en ciclos de 60 días del pasto Cayman en monocultivo (T1), fue significativamente ( $p<0.05$ ) mayor al asocio con *T. diversifolia* (T3), sin diferir ( $p>0.05$ ) del asocio con *L. diversifolia* (T2), mientras que la producción de biomasa seca entre los asociados no mostró diferencias ( $p>0.05$ ) (Figura 3).



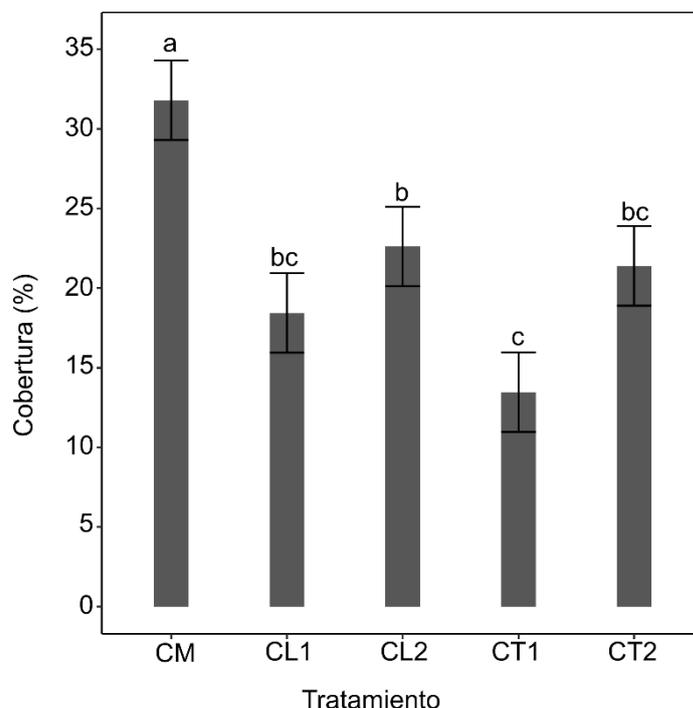
**Figura 3.** Producción de biomasa seca (kg MS ha<sup>-1</sup> ciclo) del pasto Cayman (*Urochloa* híbrido cv. CIAT BRO2/1752) en monocultivo (T1), y en asocio con *Leucaena diversifolia* (T2) y *Tithonia diversifolia* (T3) en el trópico húmedo de Costa Rica. Medias de tratamientos con letras diferentes difieren significativamente ( $p < 0.05$ ) según la prueba de medias LSD Fisher.

El ciclo I (marzo-2021) mostró los menores rendimientos en kilogramos de biomasa seca ( $1586 \pm 221$ ), siendo estadísticamente menor ( $p < 0.05$ , Anexo 1) a la obtenida en el ciclo II (mayo-2021) ( $2528.83 \pm 221.71$ ) y el ciclo III (julio-2021) ( $2361 \pm 221$ ); entre el ciclo II y III no se encontró diferencia ( $p > 0.05$ ). Únicamente el tratamiento en monocultivo (T1) mostró diferencias entre ciclos de cosecha, siendo la producción de biomasa seca del ciclo II superior ( $p < 0.05$ ) al ciclo I, sin diferir ( $p > 0.05$ ) del ciclo III. El ciclo I y III no mostraron diferencias ( $p > 0.05$ ) (Figura 4).



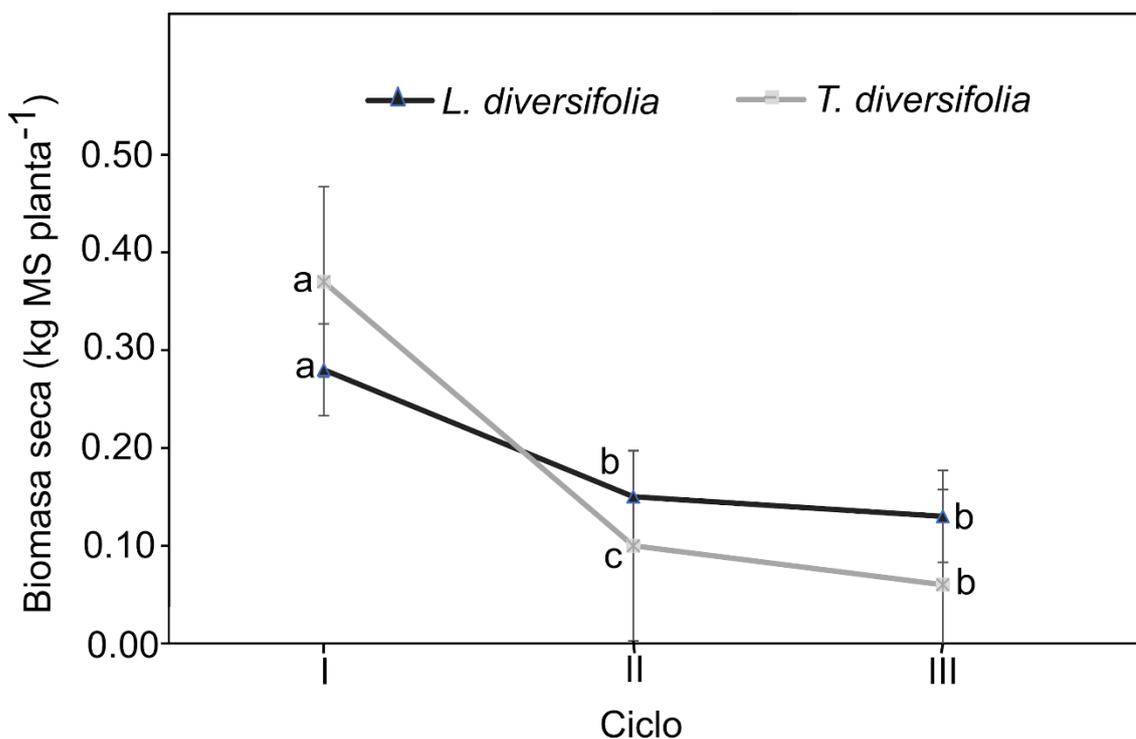
**Figura 4.** Producción de biomasa seca ( $\text{kg MS ha}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$ ) en tres ciclos de cosecha del pasto Cayman (*Urochloa* híbrido cv. CIAT BRO2/1752) en monocultivo (T1), y en asocio con *Leucaena diversifolia* (T2) y *Tithonia diversifolia* (T3), en el trópico húmedo de Costa Rica. Medias de tratamientos con letras diferentes difieren significativamente ( $p < 0.05$ ) según la prueba de medias LSD Fisher.

La cobertura mostró efectos significativos en los tratamientos y ciclos de cosecha (Anexo 1). La incorporación de las arbustivas *L. diversifolia* y *T. diversifolia* tuvo un efecto en la cobertura (%) del pasto Cayman sobre el suelo. La mayor cobertura del pasto Cayman se obtuvo en el tratamiento en monocultivo (CM), siendo éste significativamente ( $p < 0.05$ ) mayor comparado a los demás tratamientos y sus posiciones. Dentro de ambos socios no se encontró diferencias ( $p > 0.05$ ) al comparar las dos posiciones de muestreo (CL1 vs CL2 y CT1 vs CT2). Sin embargo, al comparar las posiciones entre los socios, únicamente la posición 2 (CL2) del asocio con *L. diversifolia* y la posición 1 (CT1) del asocio con *T. diversifolia* resultaron diferentes ( $p < 0.05$ ) (Figura 5).



**Figura 5.** Cobertura (%) del pasto Cayman (*Urochloa* híbrido cv. CIAT BRO2/1752) en monocultivo (CM), para dos posiciones dentro del asocio con *Leucaena diversifolia* (CL1: CL2) y *Tithonia diversifolia* (CT1:CT2), en el trópico húmedo de Costa Rica. Posición 1: a 0.5 m de las arbustivas; Posición 2: a 2.5 m de las arbustivas. Medias de tratamientos con letras diferentes difieren significativamente ( $p < 0.05$ ) según la prueba de medias LSD Fisher.

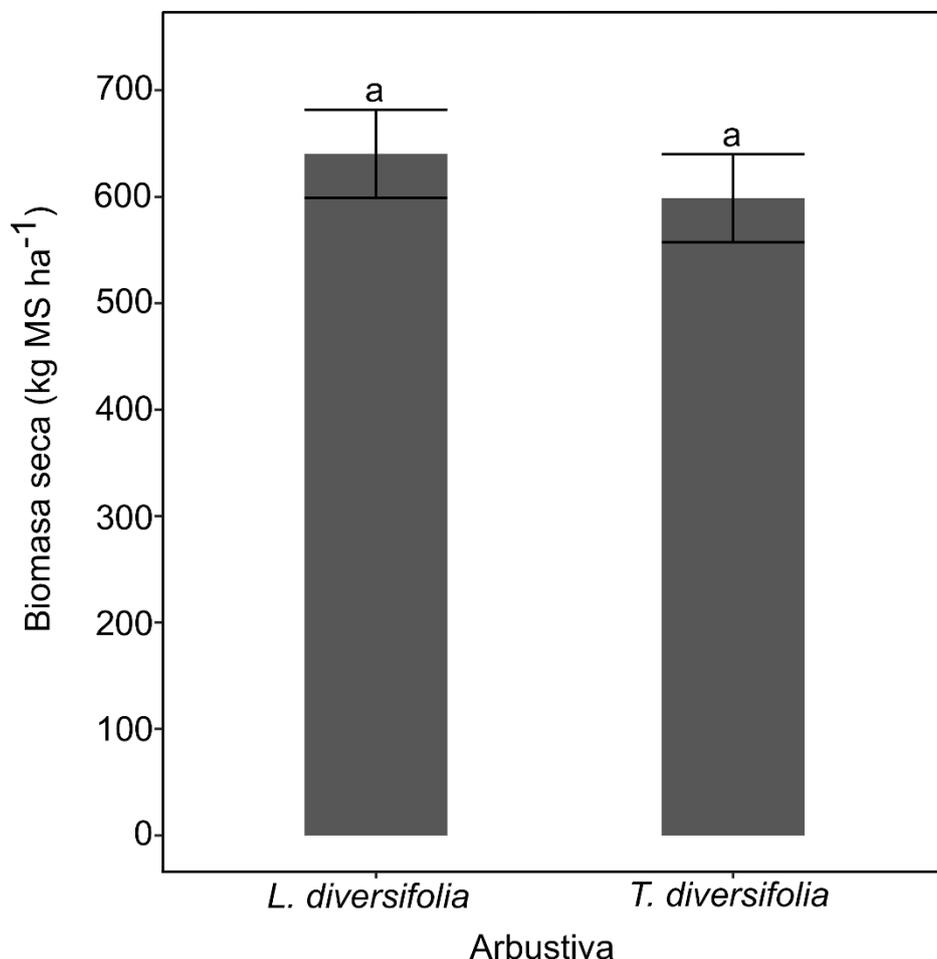
La producción de biomasa seca por planta y por hectárea tuvo efecto significativo del ciclo y de la interacción (Anexo 2). La producción promedio de biomasa seca por planta ( $\text{kg MS planta}^{-1}$ ) no mostró diferencias ( $p > 0.05$ ) entre las arbustivas *L. diversifolia* ( $0.19 \pm 0.01$ ) y *T. diversifolia* ( $0.18 \pm 0.01$ ). Las diferencias por ciclo se encontraron en el ciclo II (Mayo-2021), *L. diversifolia* fue estadísticamente mayor ( $p < 0.05$ ) (Figura 6).



**Figura 6.** Producción de biomasa seca total ( $\text{kg MS planta}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$ ) de *Leucaena diversifolia* y *Tithonia diversifolia* en asocio con pasto Cayman (*Urochloa* híbrido cv. CIAT BRO2/1752) en el trópico húmedo de Costa Rica.

Medias de tratamientos con letras diferentes difieren significativamente ( $p < 0.05$ ) según la prueba de medias LSD Fisher.

La producción promedio por hectárea de biomasa seca (Kg MS  $ha^{-1}$  ciclo) conforme a la densidad de siembra utilizada (3400 plantas  $ha^{-1}$ ) no mostró diferencias significativas ( $p > 0.05$ , Anexo 2) entre las arbustivas *L. diversifolia* y *T. diversifolia* (Figura 7).



**Figura 7.** Producción de biomasa total seca (kg MS  $ha^{-1}$ ) de *Leucaena diversifolia* y *Tithonia diversifolia* en asocio con pasto Cayman (*Urochloa* híbrido cv. CIAT BRO2/1752) con densidad (3400 plantas  $ha^{-1}$ ) en el trópico húmedo de Costa Rica.

Medias de tratamientos con letras diferentes difieren significativamente ( $p < 0.05$ ) según la prueba de medias LSD Fisher.

### 3.2 Componentes estructurales

El ciclo de cosecha tuvo efectos significativos sobre los componentes estructurales y la relación hoja:tallo (Anexo 1). El % de hojas no mostró diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) entre el tratamiento en monocultivo y las posiciones dentro del asocio. Sin embargo, la posición 1 mostró diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) al compararse entre los asocio. El porcentaje de tallo y la relación hoja-tallo no fue afectado ( $p > 0.05$ ) por los tratamientos, ni posiciones (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Componentes estructurales y relación hoja:tallo del pasto Cayman (*Urochloa* híbrido cv. CIAT Bro2/1752) en monocultivo (CM), para dos posiciones dentro del asocio con *Leucaena diversifolia* (CL1: CL2) y *Tithonia diversifolia* (CT1:CT2) en el trópico húmedo de Costa Rica.

	Medias $\pm$ error estándar			
	Hojas (%)	Tallo (%) <sup>ns</sup>	Senescente	Relación hoja:tallo <sup>ns</sup>
CM	55.12 $\pm$ 3.31ab	35.59 $\pm$ 4.43	7.12 $\pm$ 1.51 <sup>ab</sup>	2.30
CL1	51.23 $\pm$ 3.31b	41.75 $\pm$ 4.43	7.02 $\pm$ 1.51 <sup>ab</sup>	1.54
CL2	54.06 $\pm$ 3.31ab	41.47 $\pm$ 4.43	4.47 $\pm$ 1.51 <sup>b</sup>	1.81
CT1	59.15 $\pm$ 3.31a	33.69 $\pm$ 4.43	7.16 $\pm$ 1.51 <sup>ab</sup>	2.45
CT2	56.03 $\pm$ 3.31ab	35.56 $\pm$ 4.43	8.41 $\pm$ 1.51 <sup>a</sup>	2.06

Posición 1: a 0.5 m de las arbustivas; Posición 2: a 2.5 m de las arbustivas. <sup>ns</sup>no significativo. Medias de tratamientos con letras diferentes dentro de una misma columna difieren significativamente ( $p < 0.05$ ) según la prueba de medias LSD Fisher.

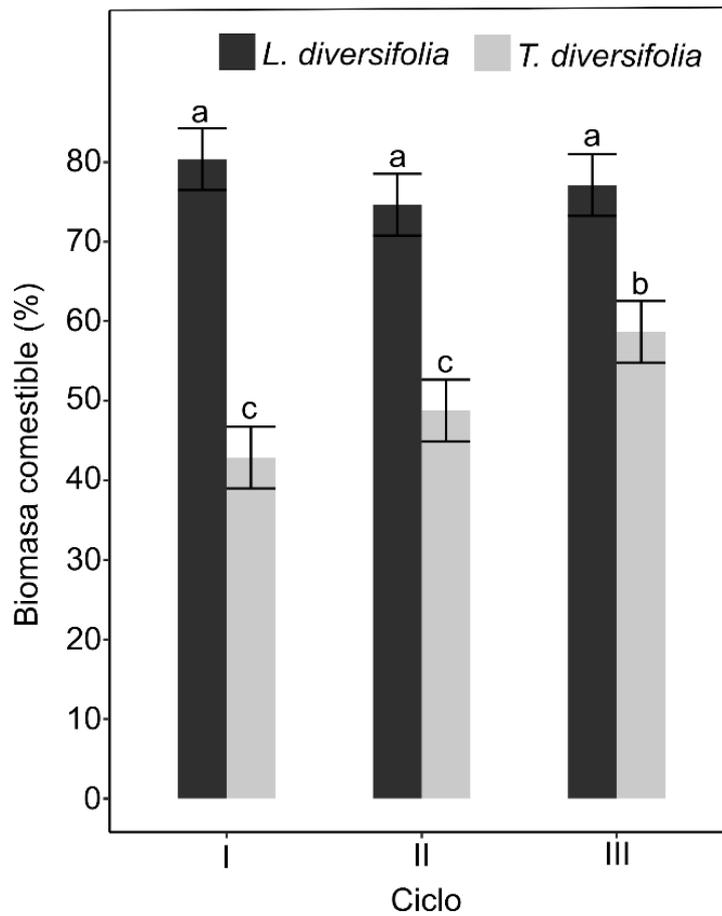
La proporción de hojas (%) en las arbustivas tuvo efecto por parte del tratamiento (Anexo 2), siendo superior ( $p < 0.05$ ) en *L. diversifolia*, especie que presentó el menor porcentaje de tallos gruesos y no difirió ( $p > 0.05$ ) en el porcentaje de tallos finos. El tratamiento, ciclo de cosecha y la interacción influyeron en el porcentaje de tallos gruesos y material senescente. La relación hoja:tallo fue afectada significativamente por el tratamiento (Anexo 2), el promedio fue mayor para *L. diversifolia* respecto a *T. diversifolia* (1.9 vs 0.98). El material senescente solo se encontró en *T. diversifolia* (9.11 $\pm$  0.96 (Media  $\pm$  E.E) %) (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Componentes estructurales (%) para la biomasa total de *Leucaena diversifolia* y *Tithonia diversifolia* en asocio con pasto Cayman (*Urochloa* híbrido cv. CIAT BRO2/1752) en el trópico húmedo de Costa Rica.

	Medias $\pm$ error estándar			
	Hoja (%)	Tallo fino (%)	Tallo grueso (%)	Senescente (%)
<i>L. diversifolia</i>	65.55 $\pm$ 2.96 <sup>a</sup>	11.85 $\pm$ 1.94 <sup>a</sup>	22.63 $\pm$ 2.49 <sup>b</sup>	0 $\pm$ 0.96 <sup>b</sup>
<i>T. diversifolia</i>	44.11 $\pm$ 2.96 <sup>b</sup>	5.99 $\pm$ 1.08 <sup>a</sup>	40.77 $\pm$ 2.49 <sup>a</sup>	9.11 $\pm$ 0.96 <sup>a</sup>

Medias de tratamientos con letras diferentes dentro de una misma columna difieren significativamente ( $p < 0.05$ ) según la prueba de medias LSD Fisher.

El efecto del tratamiento, ciclo de cosecha y la interacción fue significativo para biomasa comestible de las arbustivas (Anexo 2). La fracción de biomasa comestible mostró diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las arbustivas, *L. diversifolia* resultó mayor (77.39  $\pm$  3.32) respecto a *T. diversifolia* (50.11 $\pm$  3.32 (Media  $\pm$  E.E) %). El ciclo de cosecha no mostró efecto ( $p > 0.05$ ) sobre *L. diversifolia*, mientras para *T. diversifolia* fue significativamente ( $p < 0.05$ ) mayor en el ciclo III, sin diferir entre ciclo I y II (Figura 8).



**Figura 8.** Producción de biomasa comestible (%) de *Leucaena diversifolia* y *Tithonia diversifolia* en asocio con pasto Cayman (*Urochloa* híbrido cv. CIAT BRO2/1752) durante tres ciclos de cosecha en el trópico húmedo de Costa Rica. Medias de tratamientos con letras diferentes difieren significativamente ( $p < 0.05$ ) según la prueba de medias LSD Fisher.

### 3.3 Calidad nutricional

El contenido de materia seca (MS) mostró efectos significativos del tratamiento y el ciclo de cosecha (Anexo 3). Se observó que el mayor ( $p<0.05$ ) contenido de MS fue en el pasto Cayman en monocultivo, en la posición 1 del asocio con *L. diversifolia* se tuvo el menor ( $p<0.05$ ) contenido. La posición 2 del asocio con *L. diversifolia* no difiere ( $p>0.05$ ) de las dos posiciones en el asocio con *T. diversifolia* (CT1: CT2) (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Calidad nutricional del pasto Cayman (*Urochloa* híbrido cv. CIAT BRO2/1752) en monocultivo (CM), y para dos posiciones dentro del asocio con *Leucaena diversifolia* (CL1: CL2) y *Tithonia diversifolia* (CT1:CT2), en el trópico húmedo de Costa Rica.

	Medias $\pm$ error estándar				
	CM	CL1	CL2	CT1	CT2
MS (%)	21.81 $\pm$ 0.75 <sup>a</sup>	17.05 $\pm$ 0.75 <sup>c</sup>	18.33 $\pm$ 0.75 <sup>b</sup>	19.27 $\pm$ 0.75 <sup>b</sup>	19.19 $\pm$ 0.75 <sup>b</sup>
PC (%)	9.23 $\pm$ 0.36 <sup>c</sup>	11.75 $\pm$ 0.36 <sup>a</sup>	10.61 $\pm$ 0.36 <sup>b</sup>	9.98 $\pm$ 0.36 <sup>bc</sup>	10.18 $\pm$ 0.36 <sup>bc</sup>
FND (%) <sup>ns</sup>	67.01 $\pm$ 1.07	65.04 $\pm$ 1.07	66.56 $\pm$ 1.07	66.10 $\pm$ 1.07	65.27 $\pm$ 1.07
FAD (%) <sup>ns</sup>	39.38 $\pm$ 0.96	40.43 $\pm$ 0.96	40.38 $\pm$ 0.96	39.21 $\pm$ 0.96	38.88 $\pm$ 0.96
Lignina (%)	5.04 $\pm$ 0.17 <sup>abc</sup>	5.54 $\pm$ 0.17 <sup>ab</sup>	5.67 $\pm$ 0.17 <sup>a</sup>	4.71 $\pm$ 0.17 <sup>c</sup>	4.85 $\pm$ 0.17 <sup>bc</sup>
TND (%) <sup>ns</sup>	58.23 $\pm$ 0.74	57.41 $\pm$ 0.74	57.45 $\pm$ 0.74	58.36 $\pm$ 0.74	58.62 $\pm$ 0.74
EM (Mcal kg <sup>-1</sup> MS) <sup>ns</sup>	2.14 $\pm$ 0.03	2.11 $\pm$ 0.03	2.11 $\pm$ 0.03	2.15 $\pm$ 0.03	2.16 $\pm$ 0.03
ENL (Mcal kg <sup>-1</sup> MS) <sup>ns</sup>	1.32 $\pm$ 0.02	1.29 $\pm$ 0.02	1.29 $\pm$ 0.02	1.32 $\pm$ 0.02	1.33 $\pm$ 0.02
CNF (%)	12.96 $\pm$ 0.88 <sup>b</sup>	11.91 $\pm$ 0.88 <sup>b</sup>	12.33 $\pm$ 0.88 <sup>b</sup>	11.80 $\pm$ 0.88 <sup>b</sup>	14.54 $\pm$ 0.88 <sup>a</sup>

Posición 1: a 0.5 m de las arbustivas, posición 2: a 2.5 m de las arbustivas. MS: materia seca; PC: proteína cruda; FND: fibra neutro detergente; FAD: fibra detergente ácido; TND: total de nutrientes digeribles; EM: energía metabolizable; ENL: energía neta de lactancia; CNF: carbohidratos no fibrosos. <sup>ns</sup>no significativo. Medias de tratamientos con letras diferentes dentro de una misma fila difieren significativamente ( $p<0.05$ ) según la prueba de medias LSD Fisher.

El contenido de PC se vio afectado por el tratamiento y el ciclo de cosecha, en contraste a las demás variables incluidas en calidad nutricional que fueron afectadas únicamente por el ciclo de cosecha; a excepción del contenido de lignina quien también tuvo efecto de la interacción (Anexo 3). El contenido de PC (%) mostró diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos, el mayor contenido se encontró en la posición 1 del asocio con *L. diversifolia*, siendo diferente al resto de tratamientos. El tratamiento en monocultivo presentó el menor contenido, sin mostrar diferencias ( $p > 0.05$ ) con el asocio *T. diversifolia* en ambas posiciones (CT1:CT2). La posición 2 de *L. diversifolia* no difiere ( $p > 0.05$ ) de las posiciones en el asocio con *T. diversifolia* (Cuadro 5).

Los componentes estructurales FND (%) y FAD (%) no mostraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre el tratamiento en monocultivo y las posiciones dentro de los socios. Sin embargo, el contenido de Lignina (%) mostró diferencias ( $p < 0.05$ ) entre la posición 2 del asocio con *L. diversifolia* y ambas posiciones del asocio con *T. diversifolia*; sin diferir ( $P > 0.05$ ) con los demás tratamientos (Cuadro 5).

Dentro del contenido energético, las variables TND (%), EM ( $\text{Mcal kg}^{-1}$  MS) y ENL ( $\text{Mcal kg}^{-1}$  MS) no se vieron afectadas ( $p > 0.05$ ) por el tratamiento ni por la posición dentro de los socios. El contenido de CNF (%) resultó mayor ( $p < 0.05$ ) en la posición 2 del asocio con *T. diversifolia*. No se encontró diferencias entre los demás tratamientos (Cuadro 5).

El contenido de MS en la fracción comestible de las arbustivas tuvo un efecto del tratamiento (Anexo 4). Los valores medios obtenidos en el contenido de MS (%) de las arbustivas mostraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre *L. diversifolia* y *T. diversifolia* (Cuadro 6). El ciclo de cosecha no tuvo efecto ( $p > 0.05$ ) sobre el contenido de MS de las arbustivas (Cuadro 7).

**Cuadro 6.** Valores promedio de la calidad nutricional de la fracción comestible de *Leucaena diversifolia* y *Tithonia diversifolia* en asocio con pasto Cayman (*Urochloa* híbrido cv. CIAT BRO2/1752) en el trópico húmedo de Costa Rica.

	Medias $\pm$ error estándar	
	<i>L. diversifolia</i>	<i>T. diversifolia</i>
MS (%)	28.50 $\pm$ 0.67 <sup>a</sup>	13.23 $\pm$ 0.67 <sup>b</sup>
PC (%)	26.96 $\pm$ 0.72 <sup>a</sup>	18.49 $\pm$ 0.72 <sup>b</sup>
FDN (%) <sup>ns</sup>	48.18 $\pm$ 1.95	39.98 $\pm$ 1.95
FDA (%) <sup>ns</sup>	38.04 $\pm$ 1.34	36.90 $\pm$ 1.34
Lignina (%) <sup>ns</sup>	20.44 $\pm$ 1.13	18.78 $\pm$ 1.13
TDN (%) <sup>ns</sup>	59.27 $\pm$ 1.04	60.16 $\pm$ 1.04
EM ( $\text{Mcal kg}^{-1}$ MS) <sup>ns</sup>	2.23 $\pm$ 0.05	2.19 $\pm$ 0.05
ENL ( $\text{Mcal kg}^{-1}$ MS) <sup>ns</sup>	1.35 $\pm$ 0.03	1.38 $\pm$ 0.03
CNF (%) <sup>ns</sup>	27.93 $\pm$ 2.23	30.66 $\pm$ 2.23

MS: materia seca; PC: proteína cruda; FDN: fibra detergente neutro; FDA: fibra detergente ácido; TND: total de nutrientes digeribles; EM: energía metabolizable; ENL: energía neta de lactancia; CNF: carbohidratos no fibrosos. <sup>ns</sup>no significativo. Medias de tratamientos con letras diferentes dentro de una misma fila difieren significativamente ( $p < 0.05$ ) según la prueba de medias LSD Fisher.

**Cuadro 7.** Calidad nutricional de la fracción comestible de *Leucaena diversifolia* y *Tithonia diversifolia* en asocio con pasto Cayman (*Urochloa* híbrido cv. CIAT BRO2/1752) durante tres ciclos de cosecha en el trópico húmedo de Costa Rica.

	Medias ± error estándar					
	<i>Leucaena diversifolia</i>			<i>Tithonia diversifolia</i>		
	I	II	III	I	II	III
MS (%)	29.33±1.05 <sup>a</sup>	27.68±1.05 <sup>a</sup>	28.50±1.05 <sup>a</sup>	14.73±1.05 <sup>b</sup>	12.20±1.05 <sup>b</sup>	12.75±1.05 <sup>b</sup>
PC (%)	25.68±0.91 <sup>b</sup>	29.23±0.91 <sup>a</sup>	25.98±0.91 <sup>b</sup>	20.40±0.91 <sup>c</sup>	18.69±0.91 <sup>d</sup>	17.23±0.91 <sup>d</sup>
FDN (%)	39.15±2.66 <sup>b</sup>	51.68±2.66 <sup>a</sup>	53.73±2.66 <sup>a</sup>	40.85±2.66 <sup>b</sup>	40.35±2.66 <sup>b</sup>	38.75±2.66 <sup>b</sup>
FDA (%)	31.80±2.14 <sup>b</sup>	40.03±2.14 <sup>a</sup>	42.30±2.14 <sup>a</sup>	37.43±2.14 <sup>ab</sup>	36.90±2.14 <sup>ab</sup>	36.38±2.14 <sup>ab</sup>
Lignina (%)	17.20±2.14 <sup>c</sup>	20.65±2.14 <sup>b</sup>	23.48±2.14 <sup>a</sup>	18.53±2.14 <sup>bc</sup>	18.58±2.14 <sup>bc</sup>	19.25±2.14 <sup>bc</sup>
TDN (%)	64.13±1.66 <sup>a</sup>	57.72±1.66 <sup>b</sup>	55.95±1.66 <sup>b</sup>	59.75±1.66 <sup>ab</sup>	60.16±1.66 <sup>ab</sup>	60.57±1.66 <sup>ab</sup>
EM (Mcal kg <sup>-1</sup> MS)	2.41±0.07 <sup>a</sup>	2.12±0.07 <sup>b</sup>	2.04±0.07 <sup>b</sup>	2.21±0.07 <sup>ab</sup>	2.23±0.07 <sup>ab</sup>	2.25±0.07 <sup>ab</sup>
ENL (Mcal kg <sup>-1</sup> MS)	1.50±0.05 <sup>a</sup>	1.30±0.05 <sup>b</sup>	1.24±0.05 <sup>b</sup>	1.37±0.05 <sup>ab</sup>	1.38±0.05 <sup>ab</sup>	1.39±0.05 <sup>ab</sup>
CNF (%)	38.10±2.88 <sup>a</sup>	19.55±2.88 <sup>c</sup>	26.13±2.88 <sup>bc</sup>	30.68±2.88 <sup>ab</sup>	27.90±2.88 <sup>bc</sup>	33.40±2.88 <sup>ab</sup>

I (Marzo-2021), II (Mayo-2021), III (Julio): Ciclos de cosecha. MS: materia seca; PC: proteína cruda; FDN: fibra detergente neutro; FDA: fibra detergente ácido; TND: total de nutrientes digeribles; EM: energía metabolizable; ENL: energía neta de lactancia; CNF: carbohidratos no fibrosos. Medias de tratamientos con letras diferentes dentro de una misma fila difieren significativamente ( $p < 0.05$ ) según la prueba de medias LSD Fisher.

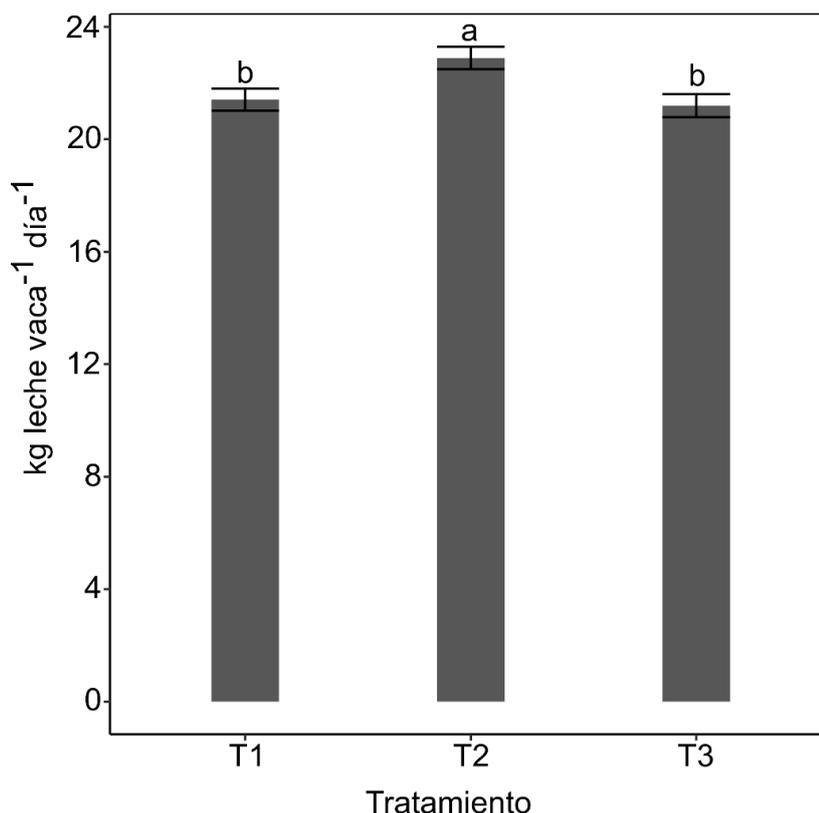
El tratamiento, ciclo de cosecha y la interacción afectaron el contenido de PC (Anexo 4). El contenido de PC fue mayor ( $p < 0.05$ ) en *L. diversifolia* respecto a *T. diversifolia* (Cuadro 4). El ciclo de cosecha afectó los contenidos de PC dentro de cada arbustiva; *L. diversifolia* mostró el mayor contenido en el ciclo II, sin diferencias entre el ciclo I y III. Mientras que en *T. diversifolia* el mayor ( $p < 0.05$ ) contenido se obtuvo en el ciclo I, el ciclo II y III fueron similares ( $p > 0.05$ ) (Cuadro 7).

El componente estructural FDN (%) tuvo efecto por parte del ciclo y la interacción (Anexo 4), mostrando diferencias ( $p < 0.05$ ) entre las arbustivas *L. diversifolia* y *T. diversifolia* (Cuadro 4). *L. diversifolia* incrementó ( $p < 0.05$ ) del ciclo I al ciclo II, el ciclo III no difiere ( $p > 0.05$ ) del ciclo II. El ciclo de cosecha no afectó ( $p > 0.05$ ) el contenido de FDN en *T. diversifolia*. En la FDA (%) no se encontró diferencias ( $p > 0.05$ ) entre las arbustivas, siendo afectado los contenidos únicamente por la interacción (Anexo 4). Los efectos entre ciclos de cosecha de cada arbustiva mostraron similar comportamiento al reportado para la variable FDN. El contenido de Lignina (%) fue similar ( $p > 0.05$ ) entre las arbustivas, mostrando efecto del ciclo y la interacción. En *L. diversifolia* se observó un incremento ( $p < 0.05$ ) conforme al ciclo de cosecha, mientras que *T. diversifolia* no fue afectada por el ciclo de cosecha (Cuadro 7).

Las variables del contenido energético no tuvieron efecto del tratamiento y el ciclo de cosecha, siendo afectadas únicamente por la interacción (Anexo 4). El contenido energético no mostró diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre las arbustivas para TND (%), EM (Mcal  $\text{kg}^{-1}$  MS), ENL (Mcal  $\text{kg}^{-1}$  MS) y CNF (%) (Cuadro 4). Las diferencias entre ciclos de cosecha para estas variables fueron significativas únicamente para la arbustiva *L. diversifolia*, los valores más altos se presentaron en el ciclo I; los ciclos II y III no difieren ( $p > 0.05$ ) entre sí (Cuadro 7).

#### 3.4 Producción y componentes de la leche

El tratamiento y el ciclo influyeron sobre la producción de leche diaria (Anexo 5). La producción diaria de leche resultó significativamente mayor ( $p < 0.05$ ) para el asocio de pasto Cayman con *L. diversifolia* para ( $22.89 \pm 0.40$ ) en comparación con el tratamiento en monocultivo ( $21.41 \pm 0.39$ ) y el asocio con *T. diversifolia* ( $21.19 \pm 0.41$ ). No se encontró diferencias ( $p > 0.05$ ) entre el Cayman en monocultivo y el asocio con *T. diversifolia* (Figura 9).



**Figura 9.** Producción de leche diaria (kg leche vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>) en vacas en pastoreo con pasto Cayman (*Urochloa* híbrido cv. CIAT BRO2/1752) (T1), y en asocio con *Leucaena diversifolia* (T2) y *Tithonia diversifolia* (T3) en el trópico húmedo de Costa Rica. Medias de tratamientos con letras diferentes difieren significativamente ( $p < 0.05$ ) según la prueba de medias LSD Fisher.

El contenido de grasa y sólidos totales (ST) de la leche no se vieron afectados por los tratamientos y la interacción tratamiento x ciclo. El tratamiento, ciclo y la interacción no influyeron sobre el contenido de proteína en la leche (Anexo 5). El contenido de lactosa y la concentración de nitrógeno ureico en leche (MUN) fueron afectados por el tratamiento y el ciclo (Anexo 5). A pesar de no encontrar diferencias en los sólidos totales, el contenido de lactosa fue mayor en el asocio de Cayman con *L. diversifolia* en comparación con Cayman en monocultivo, sin diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) con el asocio de Cayman con *T. diversifolia*. La mayor concentración de nitrógeno ureico en leche (MUN) se encontró en el tratamiento de Cayman en asocio con *L. diversifolia* (T2), siendo significativamente ( $p < 0.05$ ) diferente a los demás tratamientos (Cuadro 8).

**Cuadro 8.** Composición y contenido de nitrógeno ureico en leche en vacas cruzadas pastoreando pasto Cayman (*Urochloa* híbrido cv. CIAT BRO2/1752) en monocultivo (T1) y en asocio con *Leucaena diversifolia* (T2) y *Tithonia diversifolia* (T3) en el trópico húmedo de Costa Rica.

	Medias ± Error estándar		
	T1	T2	T3
Grasa (%) <sup>ns</sup>	3.78 ± 0.16	3.79 ± 0.15	3.89 ± 0.16
Proteína (%) <sup>ns</sup>	3.28 ± 0.08	3.34 ± 0.08	3.33 ± 0.08
Lactosa (%)	4.70 ± 0.04 <sup>b</sup>	4.89 ± 0.04 <sup>a</sup>	4.79 ± 0.04 <sup>ab</sup>
ST (%) <sup>ns</sup>	12.28 ± 0.23	12.59 ± 0.23	12.58 ± 0.24
MUN (mg dL <sup>-1</sup> )	4.11 ± 0.55 <sup>b</sup>	6.76 ± 0.55 <sup>a</sup>	4.91 ± 0.56 <sup>b</sup>

<sup>ns</sup>no significativo. Medias de tratamientos con letras diferentes dentro de una misma fila difieren significativamente (p<0.05) según la prueba de medias LSD Fisher.

## 4. Discusión

### 4.1 Producción de biomasa

La producción de biomasa seca por metro cuadrado en pasto Cayman fue afectada en diferente proporción dentro de los tratamientos y sus posiciones. La menor producción del pasto en la posición 1 de ambos socios se debe a la competencia por espacio y radiación, que reduce la captación de luz por parte del pasto, afectando los procesos fotosintéticos y la absorción de nutrientes, al mismo tiempo que se reduce la producción de biomasa (Yang *et al.* 2016). Baptistella *et al.* (2020) afirman que el crecimiento de las *Urochloas* se reduce cuando hay baja disponibilidad de luz solar, así mismo, Martínez-Mamian *et al.* (2020) reportan una reducción del 49 % en la producción de MS del pasto Cayman al asociarse con *Canavalia brasiliensis* en el trópico seco colombiano. Sin embargo, en otra investigación Mahecha *et al.* 2015, no reportan cambios en los rendimientos de *Brachiaria* híbrido Mulato II al asociarse con *T. diversifolia* comparado al monocultivo, concluyendo con esto que la respuesta productiva está en función de la especie con la que se asocia.

Las similitudes en producción de biomasa seca encontradas en el tratamiento en monocultivo y en el asocio con *L. diversifolia* en la posición 2 (al centro del callejón), se puede atribuir a dos aspectos; el primero, es la baja interacción entre la arbustiva y el pasto, el cual no interfiere en la captación de luz solar y que permite al pasto expresar su potencial genético en producción de biomasa, similar al monocultivo. No obstante, los resultados de este estudio son menores a los encontrados por Garay *et al.* (2020), quienes reportan rendimientos de 604 y 36 g MS m<sup>-2</sup> en condiciones de máxima y mínima precipitación en ciclos de cosecha de ocho semanas. Sin embargo, los resultados de este estudio son similares a los encontrados por Vendramini *et al.* (2014), quienes reportan 300 g MS m<sup>-2</sup> en ciclos de cosecha de seis semanas en el periodo de julio a noviembre en el sur de la Florida. El segundo aspecto se debe al aporte de nutrientes al pasto por parte de la leguminosa, nutrientes aportados mediante la fijación de nitrógeno y del aporte de materia orgánica (Murgueitio *et al.* 2007). Vázquez *et al.* (2020) evaluando la macrofauna y propiedades físicas del suelo en un sistema de pasto Cayman en monocultivo y en asocio con *L. diversifolia*, encontró a 1.5 metros de distancia de la arbustiva 5 % más de nitrógeno, de igual manera reporta 18.7 % más de materia orgánica particulada (POM). Estos aportes permiten compensar los rendimientos que podrían ser afectados en caso de existir una competencia por luz de la leguminosa sobre el pasto.

El aumento en producción de biomasa seca en pasto Cayman entre los ciclos de cosecha, está relacionado con la remoción total de la biomasa al inicio del experimento, realizada a 10 cm sobre el nivel del suelo. Villalobos-Villalobos & WingChing-Jones (2019) evaluando la remoción mecánica del material senescente para la recuperación de pasturas, reportan una disminución en la producción de biomasa en los pastos *Cynodon nlemfuensis* y *Megathyrsus maximus* después de realizar una remoción total de la pastura. Por otro lado, esta reducción puede estar asociada a las bajas precipitaciones y menor temperatura (Figura 1) propias de la época del año. Así mismo Rojas-García *et al.* (2018) reportan una reducción de 11.76 % en la producción en pasto Cobra (*Brachiaria* híbrido CIAT BRO2/1794) al comparar alturas de corte de 10 y 15 cm sobre el nivel del suelo, los resultados en este estudio se pueden explicar por la menor cantidad de material vegetativo disponible para realizar la fotosíntesis, modificando su forma de crecimiento e impulsando a un reajuste en el metabolismo de la planta para promover el crecimiento foliar en ciclos posteriores (Cruz *et al.* 2011).

El rendimiento por hectárea del pasto Cayman en el asocio con *L. diversifolia* y en el tratamiento en monocultivo fue similar en este estudio, evidenciando que la arbustiva *L. diversifolia* no afectó el rendimiento de la biomasa seca del pasto Cayman, al contrario, fue afectado por la arbustiva *T. diversifolia* mostrando bajos rendimientos en biomasa seca y bajos porcentajes de cobertura. Este efecto se puede explicar por las diferencias botánicas que tienen las arbustivas, siendo *L. diversifolia* una Fabácea fijadora de nitrógeno que no solo le permite obtener nitrógeno para ella, sino también le aporta nutrientes al pasto (Palma & Gonzales-Rebeldes 2018). Por el contrario, *T. diversifolia* es una Asteracea y no fija nitrógeno atmosférico, si no que obtiene el nitrógeno y demás nutrientes a través de la extracción del suelo (Jama *et al.* 2000); por lo que se concluye que puede darse una competencia por nutrientes en este asocio. Otros autores como Canul-Solis *et al.* (2018) reportan una reducción en la producción de biomasa del pasto *Cynodon nlemfuensis* al asociarse con *T. diversifolia* y *Gliricidia sepium*.

Las diferencias en producción de biomasa seca del pasto dentro de los asociados se pueden apreciar entre los ciclos de cosecha. La superioridad y estabilidad en la producción que muestra el pasto Cayman al asociarse con *L. diversifolia* sobre los demás tratamientos, puede deberse a un efecto de la arbustiva quien mejora la fertilidad del suelo, extrayendo los nutrientes de las capas más profundas y poniéndolos disponibles a las gramíneas (Romero *et al.* 2020), por un efecto de longitud de las raíces finas de la arbustiva (Vazques *et al.* 2020), también se incrementa la materia orgánica del suelo y mejora el microclima permitiendo la absorción de nutrientes (Montejo-Martínez *et al.* 2019).

La cobertura del pasto Cayman está correlacionada con los rendimientos de biomasa seca. El efecto de las arbustivas sobre la cobertura fue similar en ambos asociados, sin embargo, el tratamiento monocultivo tuvo una mayor cobertura a pesar de no mostrar diferencias en los rendimientos en biomasa seca. El efecto del *L. diversifolia* sobre la cobertura del pasto Cayman puede estar relacionado con la producción de biomasa y la mayor fracción comestible (figura 8) encontrada en este estudio, lo que pudo reducir la cobertura del pasto como consecuencia de un mayor nivel de sombra por parte de la arbustiva (Bacab *et al.* 2012). A pesar de no haber encontrado diferencias entre arbustivas, la menor cobertura se encontró en el asocio con *T. diversifolia*, diferencias que se pueden atribuir a los rasgos funcionales de las hojas. En contraste, *L. diversifolia* presenta hojas más pequeñas (12 a 17 mm) (García & Islas 2018) respecto a *T. diversifolia*, que posee hojas largas (7 a 20 cm) (Gonzales-Castillo *et al.* 2014) lo que modifica la intensidad lumínica y la calidad de la radiación solar que llega a la gramínea a través del dosel de la arbustiva (Ramírez-Contreras *et al.* 2020). Así mismo Canul-Solis *et al.* (2018) confirma la reducción de *Cynodon nlemfuensis* asociado a *T. diversifolia* sobre las gramíneas, donde se da una competencia por luz.

Estos resultados son inferiores en cobertura y rendimiento al compararlos con los encontrados por Hernández-Chaves *et al.* (2021), quienes reportan rendimientos de 6613.9

kg MS ha<sup>-1</sup> con 90.1 % de cobertura del pasto Cayman a los 45 días de cosecha en un estudio evaluando el efecto del clima en animales pastoreando pasto Cayman en el trópico muy húmedo de Costa Rica. Los resultados en este estudio son superiores a los reportados por Vendramini *et al.* (2014), quienes reportan rendimientos de biomasa seca de 1200 kg MS ha<sup>-1</sup> de pasto Cayman con 8 % cobertura, evaluando el efecto de la frecuencia de cosecha sobre la acumulación de forraje y el valor nutritivo de los híbridos *Urochloas* en Florida.

A pesar de que la biomasa por planta (kg MS planta<sup>-1</sup>) de las arbustivas, así como los rendimientos por hectárea (kg MS ha<sup>-1</sup>) no mostraron diferencias entre ellas, se observa una reducción en los rendimientos conforme a los ciclos de cosecha, esta reducción es mayor en la arbustiva *T. diversifolia*, efecto que puede deberse al agotamiento de las reservas. Las plantas movilizan reservas para reconstruir tejido fotosintético posterior a los procesos de defoliación (Latt *et al.* 1996). Latt *et al.* (2000) confirman que la frecuencia de podas disminuye la producción de los árboles, resultados reportados por estos autores al estudiar la interacción entre la frecuencia de corte, los carbohidratos de reserva y la producción de biomasa en *Gliricidia sepium* y *Leucaena leucocephala*. Los cambios mostrados en el presente estudio pueden estar asociados al efecto por parte de los animales al pastorear en el ciclo II (mayo-2021) y III (mayo-2021) y diferente del ciclo I (marzo-2021), donde el crecimiento de las plantas no estuvo influenciado por el pastoreo. A pesar de haber removido el material vegetativo de las plantas muestreadas y las cercanas a estas para reducir los efectos de sombra, la respuesta de las plantas pudo estar influenciada por la presión de los animales, además, las plantas vecinas que no fueron incluidas en el muestreo pudieron afectar los procesos fotosintéticos de las arbustivas. Las mayores precipitaciones en los ciclos II (mayo-2021) y III (mayo-2021) (Figura 1) pudieron haber influenciado el crecimiento de las arbustivas al aumentar los niveles de humedad en el suelo y consecuentemente limitar la cantidad de oxígeno en el espacio poroso.

Estos resultados son similares a los reportados por Mahecha *et al.* (2021), quien reporta producción de 0.22 kg MS planta<sup>-1</sup> a los 60 días de cosecha en un asocio de *T. diversifolia* con *Cynodon nlemfuensis*. De igual manera, son similares a los encontrados por Guastumal-Gelpud *et al.* 2020, quienes reportan valores de 0.18 kg MS planta<sup>-1</sup> a los 60 días de cosecha y 0.36 kg MS planta<sup>-1</sup> a los 90 días, evaluando la producción y calidad de *T. diversifolia* en el trópico altoandino. Asimismo, Partey (2011) reporta reducción en la producción de biomasa seca por planta de *T. diversifolia* de 0.86 a 0.46 kg MS planta<sup>-1</sup> cuando se aumentó la frecuencia de poda de 8 a 4 semanas, al mismo tiempo que se redujo de 50 a 25 cm la altura de la poda. De igual manera Bacab *et al.* (2012) reportan rendimientos de 0.43 kg MS planta<sup>-1</sup> de *L. Leucocephala* al aumentar la altura de poda de 20 a 60 cm sobre el nivel del suelo, resultados que son inferiores a los reportados en este estudio, diferencias que se pueden atribuir a la densidad de plantas por hectárea y la altura de poda utilizada en este estudio. Toral & Iglesias (2007) concluyen que a mayor altura de poda hay mayor área de tejido parenquimático de reserva y tejido meristemático activo que determinan el crecimiento del rebrote.

#### 4.2 Componentes estructurales

La proporción de hojas y tallos mostró un comportamiento diferente entre los asociados para la posición uno (CL1 y CT1). El menor porcentaje de hojas y el mayor porcentaje de tallos se obtuvo en el asocio con *L. diversifolia* en la posición uno. Esto puede estar relacionado con la altura de poda de la *Leucaena*, afectando la intercepción de luz por parte de la gramínea. Al reducir la cantidad de luz, las plantas cambian su morfología, aumentando la altura de los tallos y alargando sus hojas para interceptar más luz para realizar fotosíntesis (Alonso *et al.* 2006). Estos resultados son similares a los encontrados por Bacab *et al.* (2012) al evaluar *Megathyrsus maximus* y al aumentar en *L. leucocephala* la altura de poda de 20 a 60 cm sobre el suelo, aumentó la cantidad de tallos de 36.7 a 43.8 %.

La acumulación de material senescente en pasto Cayman fue superior en el asocio *T. diversifolia* al centro de los callejones. La influencia de esta arbustiva sobre el crecimiento del pasto propicia las condiciones para una velocidad de crecimiento mayor que permite alcanzar más rápido el punto máximo en la curva de acumulación de biomasa, ocurriendo lo contrario en el asocio con *L. diversifolia* al centro del callejón, donde se evidencia un retraso para alcanzar ese punto máximo en la curva. Esto se puede explicar porque las plantas al final de la curva de acumulación de biomasa tienden a aumentar el material senescente y en consecuencia disminuye la producción neta de biomasa (Wilson *et al.* 2008; Castro *et al.* 2013), como ocurrió en este estudio para el asocio con *T. diversifolia* (Figura 2). En una hoja de un rebrote, su ciclo de vida está relacionado con la emergencia de una hoja nueva, de esta manera, la aparición de cada hoja nueva ocurre al mismo tiempo que se interrumpe el crecimiento de la hoja anterior y la senescencia de la hoja más madura (Simioni *et al.* 2014). Garay-Martínez *et al.* (2018) evaluando la composición estructural en híbridos de *Urochloa* a diferentes edades de rebrotes, reportan para pastos Cayman a 8 semanas de cosecha promedios de acumulación de material senescente de 9%, resultados que son similares a los reportados en este estudio (8.41 %).

Las pequeñas diferencias entre tratamientos y sus posiciones en la proporción de hojas y al no haber diferencias en la proporción de tallos, dio como resultado que no se encontraran diferencias en la relación hoja:tallo. Los valores obtenidos para la relación hoja:tallo son inferiores a los reportados por Torres-Salado *et al.* (2020) quienes evaluaron pasto Cayman a diferentes intensidades de pastoreo a los 35 días de cosecha, estos autores obtuvieron valores promedios de 5.7 para esta variable, pero en este estudio la edad de rebrote fue mayor lo que debe haber incidido en los resultados obtenidos.

La mayor proporción de hojas entre los componentes estructurales explica las diferencias encontradas en la fracción comestible entre las arbustivas; además, *T. diversifolia* resultó en mayor proporción de tallos gruesos y material senescente. Debido a estas diferencias en los componentes estructurales, la fracción comestible resultó mayor en *L. diversifolia* (77.39 %) respecto a *T. diversifolia* (50.11 %). Las diferencias entre ciclos de cosecha encontradas únicamente en *T. diversifolia*, que resultaron en mayor fracción comestible en el último ciclo, se puede atribuir a un efecto en la poda realizada conforme a los ciclos de cosecha. La producción de biomasa de las plantas sometidas a una frecuencia de intervalos de corte está relacionada con la reserva de carbohidratos, reduciendo estas reservas conforme avanzan los intervalos de cosecha, al mismo tiempo que se reduce la producción de biomasa (Harrington 1989). La reducción en las reservas de las plantas tiene influencia sobre la cantidad y estructura de los rebrotes producidos (Partey 2011); efecto que está en concordancia a lo obtenido en este estudio, en el cual disminuyó la cantidad de tallos gruesos en el tercer ciclo y consecuentemente aumentó la fracción comestible. Casanova-Lugo *et al.* (2014) reportan en *L. diversifolia* promedios de FC de 80 % similar a lo encontrado en esta investigación.

#### 4.3 Calidad nutricional

La disminución en el contenido de materia seca dentro los socios es resultado de una maduración tardía del pasto que está bajo sombra y de un mayor crecimiento vegetativo (Carvalho *et al.* 2001), contrario a lo encontrado en el monocultivo. Existen otros factores que influyen en el contenido de materia seca, entre ellos la climatología de la zona (Villalobos & Arce 2014), edad de la planta (Alonso *et al.* 2008); por lo que los resultados encontrados en este estudio van a diferir a los encontrados en otras zonas. La variabilidad de los resultados se observa en investigaciones realizadas por autores como Gaviria-Uribe *et al.* (2020), quienes reportan contenidos de materia seca de 39.1 % y 21.3 % en pasto Cayman cosechado a los 65 y 45 días de rebrote, así mismo Hernández-Chaves *et al.* (2014) reportan contenidos de materia seca para el pasto Cayman en monocultivo de 18.7% en Guápiles Costa Rica.

Es evidente el efecto de la arbustiva *L. diversifolia* sobre la calidad del pasto Cayman en este estudio. El contenido de proteína cruda se mejora cuando más cerca está el pasto respecto a la leguminosa, esto se da por un aprovechamiento del nitrógeno proveniente de la fijación por parte de la leguminosa. Vasques *et al.* (2020) reportan contenidos de nitrógeno de 1.37 g kg<sup>-1</sup> al centro de hileras con distanciamiento de 1 m entre ellas, y a 1.5 m de distancia entre callejones reportan 1.22 g kg<sup>-1</sup>, comparado esto al monocultivo donde reportan 1.16 g kg<sup>-1</sup>. Bertalot *et al.* (2013) afirman que las propiedades químicas del suelo mejoraron cuando se incorporó *L. diversifolia* en asocio con *Zea mays*. Los resultados de esta investigación concuerdan con los encontrados por Aldava-Navarro *et al.* (2017) quienes reportan contenidos de PC de 12.6 % en *Urochloa brizantha* asociada con *L. Leucocephala* respecto al sistema en monocultivo en el cual reportan 10.4 % PC; de la misma manera al asociar *Megathyrus máximus* con *L. Leucocephala* reportan contenido de PC de 14.9 % respecto al monocultivo (11.7 %). Similar a lo encontrado en el presente estudio, Canul-Solis *et al.* (2018) reportan que no hubo efecto en el contenido de PC de *Cynodon nlemfuensis* asociado con *T. diversifolia*.

El bajo contenido de PC en el tratamiento en monocultivo se explica por un proceso de dilución del nitrógeno móvil que se da conforme se alcanzan mayores estados de madurez fisiológica (Velásquez *et al.* 2012), con condiciones favorables de luz, temperatura y humedad (Santiago *et al.* 2016). De acuerdo con Jarillo-Rodríguez *et al.* (2011) y en concordancia con esta investigación, la dilución de la proteína está relacionada con el incremento de la producción de MS, mayor desarrollo y acumulación de componentes fibrosos. Las diferencias encontradas en MS y PC no afectaron los contenidos FDN y FDA en los tratamientos y sus respectivas posiciones. Estos resultados concuerdan a los reportados por Canul-Solis *et al.* (2018), quienes no encontraron diferencias entre el monocultivo y el asocio con *T. diversifolia* para las variables antes mencionadas. Navas-Panadero *et al.* (2019) no reportan diferencias en un sistema silvopastoril de *Acacia melanoxilum* con pastos *Lolium perenne* y *Cenchrus clandestinus* a los 60 días de cosecha en el trópico alto. De igual manera Cuartas *et al.* (2015) no reportan diferencias en un estudio evaluando un sistema silvopastoril con *L. leucocephala* y *Megathyrus maximus* respecto al monocultivo. En el mismo sentido Sousa *et al.* (2010) no encontraron efectos en la FND y FAD evaluando la calidad nutricional del pasto *U. brizantha* cv Marandú al asociarse con *Myracrodroun urundewa* en un sistema silvopastoril en temporadas de lluvias.

El contenido de lignina en el pasto Cayman se vio afectado únicamente en el asocio con *L. diversifolia* en la posición dos, esto se explica por un efecto de mayor crecimiento y contenido de tallos como respuesta a interceptar mayor cantidad de luz, a diferencia de *L. diversifolia*, mientras en *T. diversifolia* los menores contenidos de lignina fueron en la posición uno, donde tuvo menor contenido de tallos. Jaramillo-Rodríguez *et al.* (2011) afirma que el incremento o disminución de tallos modifica la pared celular. Los contenidos de Lignina reportados en este estudio son superiores a los encontrados por Hernández-Chaves *et al.* (2021), quienes reportan valores de 3 % y 3.75 % con frecuencias de cosecha de 28 y 42 días en el trópico húmedo de Costa Rica.

El total de nutrientes digestibles (TND) y las fracciones energéticas (EM y ENL) estimadas mediante el modelo NRC (2001), no fueron afectados por los tratamientos ni sus posiciones. Sin embargo, Quintero-Anzueta *et al.* (2021), reportan contenidos energéticos promedio de 1.93 Mcal kg<sup>-1</sup> MS en pasto Cayman en monocultivo, resultados que son similares a los encontrados en este estudio. Valles-de la Mora *et al.* (2017) no encontraron diferencias en EM en pasto *U. brizantha* en monocultivo y en asocio con *Cratylia argentea* (2.55 y 2.62 Mcal kg<sup>-1</sup> MS). Respecto al TND, se encontraron valores entre 57 y 61 % en pasto *U. humidicola* cv. Llanero (Rincón *et al.* 2018), que son similares a los reportados en el presente estudio. La similitud en los resultados encontrados en estas investigaciones se atribuye, a que, a pesar de las diferencias en el contenido de PC y Lignina, los cuales son dos componentes que afectan la digestibilidad de los nutrientes (Villalobos & Arce 2014)

no se encontraron diferencias en los contenidos de FDN y FDA, siendo la FDA otro determinante en cuanto a la digestibilidad de los nutrientes (NRC 2001).

Las variaciones de los contenidos de pared celular producto de los procesos de lignificación en pastos tropicales, afecta el balance entre energía y proteína a nivel ruminal, afectado a su vez los procesos de digestión microbiana al limitar el contacto con los componentes de la pared celular y reducir el nivel de degradabilidad de los nutrientes y fracciones potencialmente digestibles de la MS y la pared celular (Lascano 2002; Mandebvu *et al.* 1999). Los carbohidratos no fibrosos (CNF) fueron diferentes y superior únicamente en el asocio con *T. diversifolia* en la posición dos, resultados que se pueden atribuir al menor porcentaje de FND y FAD mostrada en este tratamiento, ya que los CNF están conformados por pectinas, almidones y azúcares (Mertens 1992; Sánchez *et al.* 2000). Da Silva *et al.* (2021) no muestra diferencias de CNF en *Urochloa brizantha* cv. Marandu en asocio con *Stylosanthes spp.* en sistemas convencionales con fertilizante (14.67 %) y sin fertilizante (14.89 %).

Los contenidos de materia seca (MS) de la fracción comestible de las arbustivas fueron diferentes en este estudio. Dichos resultados coinciden a los encontrados por Quintero-Anzueta *et al.* (2021) quien reporta 29.2% de MS para *L. diversifolia*, al evaluar la calidad nutricional del pasto Cayman solo y en asocio con esta especie. De igual manera, los resultados encontrados para *T. diversifolia*, en este estudio, son similares a los encontrados por Arguello-Rangel *et al.* (2020), quien reporta valores de 15.3% en un sistema silvopastoril con *Urochloa brizantha* y *Urochloa humidicola*. Sin embargo, estos valores son superiores a los encontrados por Lezcano *et al.* (2012) quienes reportan valores de 10.13% a los 60 día de cosecha. Estas diferencias se dieron entre los ciclos de cosecha, donde el mayor contenido de MS se encontró en el ciclo I y con tendencia a disminuir entre el ciclo II y III, donde se centraron las mayores precipitaciones.

La fracción comestible de las arbustivas mostró variabilidad en calidad nutricional. *L. diversifolia* presenta el valor más alto en PC, superando en 8.47 % a *T. diversifolia*. Estos resultados se pueden atribuir a que la arbustiva *L. diversifolia* presentó el mayor contenido hojas, que es donde se ubica el mayor contenido de proteína, lo que concuerda con lo encontrado por Lezcano *et al.* (2012) quien al evaluar la composición nutricional de la fracción comestible de *T. diversifolia*, encontró contenidos de proteína (28.67 y 11.04 %) y (17.71 y 13.45 %) para hojas y tallos, fracciones cosechadas a los 30 y 60 días. Sin embargo, los resultados encontrados en el presente estudio son inferiores a los reportados por Rivera *et al.* (2015) quienes reportan 25.4 % de CP en un sistema silvopastoril intensivo con periodos de descanso de 35 días, diferencias que pueden ser explicadas por el periodo de descanso (35 vs 60) y por ser estos valores de la planta entera (mezcla de tallos y hojas). Por otro lado, estos resultados son similares a los reportados por Canul-Solís *et al.* (2018), quien reporta valores de 15 % de PC en un sistema silvopastoril asociado con *Cynodon nlemfuensis*.

A pesar de encontrar diferencias en el contenido proteico en las arbustivas, estas no fueron diferentes en FND, FAD y Lignina. Los resultados encontrados en *L. diversifolia* son similares a los reportados por Quintero-Anzueta *et al.* (2021) al evaluar la calidad nutricional de forrajes tropicales en dietas solas y asociadas con *L. diversifolia*, encontrando valores de 53 %, 34.4 % y 17.6 % para FND, FAD y Lignina respectivamente. Sin embargo, Heinritz *et al.* (2012) reportan valores para *L. diversifolia* de 30.9 y 21.9 % para FDN y FAD. Estas diferencias se atribuyen a la fracción analizada, ellos eliminaron los tallos lignificados y solo incluyeron las hojas con los tallos verdes y finos; diferente a este estudio en el que se eliminó únicamente los tallos mayores a 5 mm. Los resultados encontrados en *T. diversifolia* son similares a los encontrados por Mauricio *et al.* (2014) con valores de 44.6 % FND y 38.3 % FAD, en plantas en estado de prefloración cosechadas a los 40 días y a 80 cm de altura sobre la base del suelo. La similitud de los resultados en estos estudios se debe, a que a pesar de las diferencias en cosecha (40 vs 60 días), se compara una planta completa vs la fracción comestible; esto lo confirma Panadero & Montoya (2019), quienes

obtuvieron contenidos de 62% para FND y 43% para FAD en planta completa, además, analizó por separado los contenidos de FDN y FAD en hojas (60 y 44 %) y tallos (70 y 55%).

Las variables del contenido energético EM, ENL, TDN y CNF no fueron diferentes entre las arbustivas, sin embargo, en la arbustiva *L. diversifolia* se muestran cambios entre los ciclos de cosecha, donde el ciclo I fue superior, disminuyendo conforme a los ciclos de cosecha. Variaciones que pueden estar relacionada con el menor contenido de FND y FAD, por efecto de una mayor fracción comestible compuesta por 65% de hojas, donde se encuentra la mayor cantidad de nutrientes (Carvalho *et al.* 2009). Estos resultados no difieren a los encontrados por Velez-Terranova *et al.* (2015) quien reporta valores de CNF de 23.09 % en *L. Leucocephala*, también Sierra-Montoya *et al.* (2017) reportan valores de EM de 2.64 (Mcal kg<sup>-1</sup> MS) para esta arbustiva. Los contenidos de TDN encontrados en *T. diversifolia* fueron inferiores a los reportados por Cardona-Iglesias *et al.* (2020), quienes reportaron en hojas y tallos tiernos valores promedios de 72.7 y 66.4 % a los 60 y 80 días de cosecha en épocas de alta precipitación, del mismo modo, estos autores reportan valores de ENL de 1.65 y 1.5 Mcal kg<sup>-1</sup> MS en *T. diversifolia* a los 60 y 80 días de cosecha, los cuales son similares a los encontrados en este estudio.

#### 4.4 Producción y componentes de la leche

La respuesta en la producción de leche al integrar las arbustivas con el pasto Cayman fue positiva a favor de *L. diversifolia*, mostrando incrementos de 6.5% respecto al tratamiento en monocultivo y de 7.4% en comparación al asocio con *T. diversifolia*. La incorporación de arbustivas (leguminosas y no leguminosas) de superior calidad nutricional en pasturas tropicales mejora la oferta de nutrientes, aportando biomasa en mayor cantidad y calidad nutricional (Yamamoto *et al.* 2007). Debido a que en esta investigación no se estimó el consumo de forraje por parte de los animales, es posible que el aumento en la producción de leche este asociado a mejoras en la dieta consumida, respaldado esto por los mayores contenidos proteicos y mayor fracción comestible encontrada en este estudio. Al integrar arbustivas leguminosas en los sistemas de pastoreo, los animales aprovechan mejor la mezcla forrajera incrementando el consumo y obteniendo mayor cantidad de nutrientes (Poppi & McLennan 1995; Gonzales 1992). Rivera *et al.* (2019) argumentan que la proteína cruda proveniente del forraje de *Leucaena spp.* es fermentado rápidamente en el rumen, mejorando la síntesis de proteína microbiana. El incremento en la síntesis de proteína microbiana mejora la absorción de nitrógeno a nivel ruminal, promoviendo mayor síntesis de aminoácidos disponibles para la síntesis de proteína en leche en la glándula mamaria (Calsamiglia *et al.* 2010).

Las diferencias en producción encontradas en el asocio con *L. diversifolia* podrían relacionarse también con el aporte de proteína de sobrepaso al intestino delgado, donde es aprovechada como proteína verdadera (Delgado *et al.* 2001; Razz *et al.* 2004). Autores como Razz *et al.* (1999) encontraron porcentajes de nitrógeno no degradable en el rumen equivalente a 3.12 % (4.79 % de nitrógeno total) presente en la fracción fina (tallos <5 mm y hojas), y en la fracción gruesa (tallos > 5 mm) encontraron 0.90 % de nitrógeno no degradable respecto al total de nitrógeno (1.90 %) reportado. Por lo que se sugiere que la *L. diversifolia* no solo aporta nitrógeno a nivel ruminal, sino que suministra proteína sobrepasante lo cual es más importante cuando se trabaja con animales que presentan niveles altos de producción (Orskov 1982).

Los incrementos en la producción de leche han sido reportados por diversos autores al evaluar la incorporación de *L. leucocephala* tanto en sistemas de pastoreo como de corte-acarreo. Sarabia-Salgado *et al.* (2020) reportan un incremento en la producción diaria de 2.7 kg leche día<sup>-1</sup> (36.5 %) al comparar un sistema silvopastoril con *L. Leucocephala* y *Megathyrus maximus* respecto *M. maximus* en monocultivo utilizando vacas cruzadas. De igual manera, Ruiz-González *et al.* (2013) encontraron un aumento significativo al

incorporar *L. leucocephala* a niveles de inclusión de 45 % de la MS de la ración. Turcios (2008) reporta incrementos de 14.3 % en la producción de leche al comparar sistemas con y sin suplementación (4.34 vs 3.72 kg vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>) de un banco de proteína de *L. Leucocephala* en vacas doble propósito, resultados que son superiores y se atribuyen a las diferencias en los sistemas evaluados. Otros autores reportan incrementos de 6.7 % al incorporar *T. diversifolia* respecto a un sistema en monocultivo con *Urochloa brizantha* y *Urochloa humidicola* (Rivera *et al.* 2015), los cambios en la producción respecto al presente estudio pueden atribuirse a las diferencias de los sistemas evaluados en cuanto al número de ordeños y la suplementación.

Sin embargo, autores como Mahecha *et al.* (2008) reportan producción es inferiores (13.5 kg día<sup>-1</sup>) a los encontrados en el presente estudio (22.89 kg leche día<sup>-1</sup>), al evaluar la adición de grasa de sobre paso en vacas raza Lucerna ordeñadas dos veces al día pastoreando en *Cynodon nlemfuensis* en asocio con *L. Leucocephala* y suplementadas con caña de azúcar, salvado de arroz y melaza. Es evidente el potencial de la incorporación de *L. diversifolia* en asocio con Cayman en la producción animal relacionado con rendimientos, autores como Enciso *et al.* (2019) al evaluar la inclusión de *L. diversifolia* en asocio y en monocultivo, reportan ganancias de peso superiores en 217 gramos día<sup>-1</sup> respecto al tratamiento en monocultivo; los efectos son atribuidos a la mejora en los aportes de biomasa de mejor calidad nutricional.

Los efectos de los tratamientos resultaron significativamente mayores en el tratamiento con *L. diversifolia* para el contenido de lactosa y la concentración de nitrógeno ureico en leche (MUN). Al no tener información sobre el conteo de células somáticas como otro de los factores modificadores del contenido de la lactosa en leche (Malek dos Reis 2013; Ramos *et al.* 2015), este incremento en el contenido de lactosa puede estar relacionado con la mayor producción de leche obtenida en T2. Lo que se explica debido a que la cantidad de lactosa juega un papel importante en determinar el volumen de leche que se produce, la cantidad de lactosa sintetizada por la célula determina la cantidad de agua que se secreta la misma, por lo tanto, la cantidad de leche que produce la vaca (Campabadal 1999). Gallego-Castro *et al.* (2017) no encontraron diferencias en producción de leche, ni en el contenido de lactosa, al incorporar a la dieta 15 y 25% de harina de *T. diversifolia* cosechada a los 56 días, en vacas Holstein. Similares resultados reportan Mahecha *et al.* (2007) al sustituir 25 y 35% de la MS del concentrado.

Las concentraciones de MUN pueden estar influenciadas por la cantidad de proteína degradable en rumen, así como por la proteína total de la dieta (Baker *et al.* 1995), al no contar con información precisa sobre el fraccionamiento de la proteína de la forrajera y por ende de la dieta; las concentraciones mayores de MUN encontradas en el tratamiento con *L. diversifolia* (T2) podrían estar relacionadas a la mayor producción de leche obtenida para este tratamiento. Las vacas con mayor nivel productivo pueden presentar mayores concentraciones de MUN, asociado esto al mayor gasto de aminoácidos como una vía para obtener energía que permita satisfacer el mayor gasto energéticos de los animales (Khon 2007). Además, al haber un mayor flujo de proteína hacia el intestino delgado, existe la probabilidad que ocurra procesos de desaminación de los aminoácidos que se absorben a nivel hepático, especialmente si existiera un menor balance energético en las vacas con mayor nivel productivo, este amoniaco incide en el aumento de MUN (Gonzales y Koenekamp 2006). En raciones con altos niveles de proteína cruda como las utilizadas en el presente estudio, la inclusión de una especie con alto contenido proteico como *L. diversifolia* debe resultar en incrementos en la liberación de amoniaco en el rumen, el cual al ser absorbido se manifiesta en una mayor concentración de MUN. Los resultados de este estudio son inferiores a los reportados por Menjura *et al.* (2018), quienes evaluando diferentes densidades de *L. leucocephala* durante cuatro ciclos de cosecha obtuvieron valores promedios de 14.6 mg dL<sup>-1</sup>, las diferencias respecto a estos autores se pueden atribuir al sistema de alimentación utilizado, donde las vacas además del concentrado fueron suplementadas con ensilaje de maíz y otros subproductos, lo que permitió una lenta

liberación de carbohidratos fermentables a nivel ruminal y con ello, menor captación del amoníaco liberado, reflejándose en los valores superiores de MUN.

## 5. Conclusiones

Aun cuando el ensayo agronómico no fue lo suficientemente largo como para contemplar posibles efectos de la variabilidad interanual y el efecto de un mayor tiempo de uso de este tipo de pasturas bajo pastoreo-ramoneo, los resultados encontrados hasta la fecha sugieren que la incorporación de *L. diversifolia* no tuvo efecto sobre la producción de biomasa seca del pasto Cayman, mostrando similares rendimientos al monocultivo. Además, la incorporación de *L. diversifolia* contribuyó al incremento en los contenidos proteicos del pasto Cayman, sin modificar su composición estructural. A pesar de que las arbustivas no presentaron diferencias en la producción de biomasa, la incorporación de *L. diversifolia* incrementa la oferta de biomasa comestible de mayor calidad nutricional, reflejando su efecto al incrementar en 7% la producción de leche sin alterar su composición. Los resultados de las variables productivas encontradas en este estudio, en conjunto a los múltiples beneficios que ofrecen los sistemas silvopastoriles y que no fueron evaluados, hace que esta arbustiva sea una alternativa prometedora para la intensificación sostenible de los sistemas ganaderos.

## 6. Recomendaciones

En la actualidad existe una presión por reducir los costos de alimentación, emisiones de GEI (principalmente metano entérico) y la dependencia de insumos externos, bajo el enfoque de la intensificación sostenible de los sistemas productivos. Los resultados encontrados en el presente estudio contribuyen con información técnica para desarrollar herramientas que permitan evaluar de manera integral la adopción de estos sistemas.

Es necesario generar información referente a las emisiones y captura de carbono de estos sistemas. Asimismo, los costos de establecimiento, las labores agronómicas (altura y frecuencia de podas) y la persistencia en el tiempo de estos sistemas debe seguir siendo evaluados.

## 7. Bibliografía

- Alonso, J; Febles, G; Ruiz, T; Achang, G. 2008. Características bromatológicas de guinea (*Panicum maximum* vc. Likoni) en un sistema silvopastoril con *Leucaena* (*Leucaena leucocephala* vc. Perú). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 42(3):295-298.
- Alonso, J. 2011. Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 45(2):107-115.
- Alonso, J; Febles, G; Ruiz, T. 2006. Efecto de la sombra en la gramínea asociada en un sistema silvopastoril de *Leucaena*-guinea durante sus diferentes etapas. *Rev. Cuba Cienc Agri* 40(4):503–511.
- Arango, J; Gutiérrez Solis, JF; Mazabel, J; Pardo, P; Enciso, K; Burkart, S; Serrano, G. 2016. Estrategias tecnológicas para mejorar la productividad y competitividad de la actividad ganadera: Herramientas para enfrentar el cambio climático. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical. p58.
- Argel, MPJ; Lascano, CE; Ramírez, L. 1998. *Leucaena* in Latin American farming systems: Challenges for development.
- Argüello-Rangel, J; Mahecha-Ledesma, L; Angulo-Arizala, J. 2020. Desarrollo de novillas BON x Cebú en un silvopastoril de *Tithonia diversifolia*, en Antioquia, Colombia. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 18(2):48-59.
- Bacab, H; Solorio, F; Solorio, S. 2012. Efecto de la altura de poda en *Leucaena leucocephala* y su influencia en el rebrote y rendimiento de *Panicum maximum*. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 16(1):65-77.
- Baptistella, J; De Andrade, S; Favarin, J; Mazzafera, P. 2020. *Urochloa* in tropical agroecosystems. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4(1): 119.
- Bertalot, M; Guerrini, I; Mendoza, E; Pinto, M. 2013. Influence of Agroforestry and Traditional Management of Maize (*Zea mays* L.) on Soil Fertility. *Journal of sustainable forestry*, 32(5):495-511.
- Calsamiglia, S; Ferret, A; Reynolds, CK; Kristensen, NB; Van Vuuren, AM. 2010. Strategies for optimizing nitrogen use by ruminants. *Animal*. 4(1):1184–1196.
- Campabadal, C. 1999. Factores que afectan el contenido de sólidos de la leche. *Nutrición Animal Tropical*. 5(1):67-92.
- Cardona, C; Ramírez, J; Morales, A; Londoño±o, G; Rosales, R. 2015. Dry matter and nutrient intake and diet composition in *Leucaena leucocephala* based intensive silvopastoral systems. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 18(3).
- Cardona-Iglesias, J; Escobar-Pachajoa, L; Guatusmal-Gelpud, C; Meneses-Buitrago, D; Ríos-Peña, L; Castro-Rincón, E. 2020. Efecto de la edad de cosecha en la digestibilidad y fraccionamiento energético de dos arbustivas forrajeras en Colombia. *Pastos y Forrajes*, 43(3):254-262.
- Carvalho, M; Xavier, D; Alvim, M. 2001. Uso de leguminosas arbóreas na recuperacao sustentabilidade de pastagens cultivadas. En *Sistemas Agroflorestais pecuarios: opcoes de sustentabilidade para areas tropicais e subtropicais*. Eds. M. Carvalho, M. Alvim y J. Costa. Juiz de Fora, Brasil. P. 189.
- Carvalho, P; Trindade, J; DaSilva, S; Bremm, C; Mezzalira, J; Nabinger, C; Amaral, M; Carassai, I; Martins, R; Genro, T; Gonçalves, E; Amaral, G; Gonda, H; Chec Poli, DT Santos. 2009. Consumo de forraje por animales en pastoreo: analogías y simulaciones en pastoreo rotacional Simposio sobre manejo de pastos

- intensificación de sistemas de producción animal de pastos , FEALQ , Piracicaba. 239-(2):61–9.
- Castro, R; Hernández-Garay, A; Ramírez, R; Aguilar, B; Enríquez, Q; Mendoza, P. 2013. Crecimiento en longitud foliar y dinámica de población de tallos de cinco asociaciones de gramíneas y leguminosa bajo pastoreo. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 4(1): 201-215.
- CIAT. Tropical seeds [Internet]. 2011. citado 12 de octubre de 2021. Disponible en: <http://www.tropseeds.com/es/cayman/>
- Chacón, P. 2018. Uso de *Tithonia diversifolia* como forraje alternativo para la reducción de emisiones de óxido nitroso en excretas de vacas. Tesis Magister, Turrialba, Costa Rica, CATIE. 87 p.
- Cruz-Hernández, A; Hernández Garay, A; Enríquez Quiroz, J; Gómez Vázquez, A; Ortega Jiménez, E; Maldonado García, N. 2011. Producción de forraje y composición morfológica del pasto Mulato (*Brachiaria* híbrido 36061) sometido a diferentes regímenes de pastoreo. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 2(4):429-443.
- Da Silva, L; Okada, E; Soares, J. 2021. Organic management of *Urochloa brizantha* cv. Marandu intercropped with leguminous. *Org. Agr.* <https://doi.org/10.1007/s13165-021-00359-x>
- Delgado, C; Rosegrant, M; Steinfeld, H; Ehui, S; Courbois, C. 1999. Livestock to 2020: the next food revolution. Food, Agriculture and the Environment Discussion Paper No. 28. Washington, DC, IFPRI.
- Delgado, D; La Oo; Chongo, B; Galindo, J; Obregón, Y; Aldama, A. 2001. Cinética de la degradación ruminal in situ de cuatro árboles forrajeros tropicales: *Leucaena leucocephala*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Sapindus saponaria* y *Gliricidia sepium*. *Rev. Cubana Cienc. Agric.* 35(2):141-145.
- Di Rienzo, J; Casanoves, F; Balzarini, M; Gonzalez, L; Tablada, M; Robledo, C. InfoStat versión 2019 (en línea). Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Consultado 6 nov. 2021. Disponible en <http://www.infostat.com.ar>
- Enciso, K; Sotelo, M; Peters, M; Burkart, S. 2019. The inclusion of *Leucaena diversifolia* in a Colombian beef cattle production system: An economic perspective. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 7(4):359-369.
- Gallego-Castro, LA; Mahecha-Ledesma, L; Angulo-Arizala, J. 2017. Producción, calidad de leche y beneficio: costo de suplementar vacas holstein con *Tithonia diversifolia*. *Agronomía Mesoamericana*, 28(2):357-370.
- Garay Martínez, J. R; Estrada Drouaillet, B; Bautista Martínez, Y; Bernal-Flores, Á; Mendoza Pedroza, S. I; Martínez González, J. C; Joaquín Cancino, S. 2020. Forage yield and quality of buffel 'H-17' and *Urochloa* hybrids at different regrowth ages under semi-arid conditions. *Grassland Science*, 66(4):277-284. <https://doi.org/10.1111/grs.12278>
- García, D.E; Wencomo, H.B; Gonzales, M.E; Medina, M.G; Cova, L.J; Spengler, I. 2008. Evaluación de diecinueve accesiones de *Leucaena leucocephala* basada en la calidad nutritiva del forraje. *Zootecnia tropical* 26(1):9-18.
- García, JMP; Islas, CGR. 2018. Recursos arbóreos y arbustivos tropicales. Colima, México. 111 p.
- Gaviria-Uribe, X; Bolivar, D. M; Rosenstock, T. S; Molina-Botero, I. C; Chirinda, N; Barahona, R; Arango, J. 2020. Nutritional quality, voluntary intake and enteric

- methane emissions of diets based on novel Cayman grass and its associations with two *Leucaena* shrub legumes. *Frontiers in Veterinary Science*, 7(1):764.
- Gerber, PJ; Steinfeld, H; Henderson, B; Mottet, A; Opio, C; Dijkman, J; Falcucci, A; Tempio, G. 2013. Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- Gonzales, M. 1992. Selectividad y producción de leche de pasturas de estrella (*Cynodon nlemfuensis*) sólo y asociado con las leguminosas forrajeras *Arachis pintoi* CIAT 17434 y *Desmodium ovalifolium* CIAT 350. Tesis Magister, Turrialba, Costa Rica, CATIE. 158 p.
- González, F; Koenekamp. I. 2006. Adaptaciones metabólicas hepáticas en el período periparto en vacas de alta producción de leche. Pontificia Universidad Católica de Chile, CHI.
- Guatusmal-Gelpud EP; Meneses-Buitrago, DH; Cardona-Iglesias JL; Castro-Rincón E. 2020. Producción y calidad de *Tithonia diversifolia* y *Sambucus nigra* en trópico altoandino colombiano. *Agronomía Mesoamericana* 31(1):193–208
- Harrington, MG. 1989. Gambel oak root carbohydrate response to spring, summer, and fall prescribed burning. *Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives*, 42(6):504-507.
- Heinritz, S; Hoedtke, S; Martens, S; Peters, M; Zeyner, A. 2012. Evaluation of ten tropical legume forages for their potential as pig feed supplement. *Livestock Research for Rural Development*, 24(1).
- Hernández-Chaves, M; Abarca-Monge, S; Soto Blanco, R. 2014. Evaluación del pasto *Brachiaria* híbrido cv. Cayman, en pastoreo en el trópico muy húmedo de Costa Rica. *Alcances Tecnológicos*, 70(1):48-52.
- Hernández-Chaves, M; Abarca-Monge, S; Soto-Blanco, R. 2021. Efecto del clima en animales pastoreando Cayman en el trópico muy húmedo de Costa Rica. *Alcances Tecnológicos*, 14(1):84-97.
- Hutton, EM. 1990. Field selection of acid-soil tolerant leucaena from *L. leucocephala* x *L. diversifolia* crosses in a tropical Oxisol. *Tropical agriculture*, 67(1):2-8.
- Ibrahim, M. A; Andrade, H. 2003. ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles? *Agroforestería en las Américas*, 10(1):39-40.
- Ibrahim, M; Franco, M; Pezo, DA, Camero, A; Araya, JL. 2001. Promoting intake of *Cratylia argentea* as a dry season supplement for cattle grazing *Hyparrhenia rufa* in the subhumid tropics. *Agroforestry Systems* 51(1):167-175.
- Ibrahim, M; Villanueva, C; Casasola, F; Rojas, J. 2006. Sistemas silvopastoriles como una herramienta para el mejoramiento de la productividad y restauración de la integridad ecológica de paisajes ganaderos. *Pastos y Forrajes*, 29(4):383-419.
- Instituto Nacional de Estadísticas INEC. 2019. Encuesta nacional agropecuario (en línea). Consultado 26 de octubre de 2020, disponible en <http://www.corfoga.org/estadisticas/poblacion-animal/>
- Khon, R. 2007. Use of milk or blood urea nitrogen to identify feed management inefficiencies and estimate nitrogen excretion by dairy cattle and other animals. Paper presented at: 18th Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium. Paper 8. University of Florida, 30-31 Jan. Gainesville, FL, USA.

- Lamela, L; Montejo, I. L; Sánchez, T. 2015b. Influencia de la suplementación con concentrado en la producción de leche de vacas Holstein x Cebú en silvopastoreo. *Pastos y Forrajes*, 38(1):0-0.
- Lascano, C. 2002. Caracterización de las pasturas para maximizar producción animal. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal* 10(2):126-132.
- Latt, CR. 1996. Biomass production in agroforestry trees as influenced by cutting frequency and reserve carbohydrates. PhD dissertation. University of Florida, Gainesville.
- Latt, CR; Nair PKR, Kang BT. 2000. Interactions among cutting frequency, reserve carbohydrates, and post-cutting biomass production in *Gliricidia sepium* and *Leucaena leucocephala*. *Agroforestry Systems* 50(1):27-46.
- Lezcano, Y; Soca, M; Ojeda, F; Roque, E; Fontes, D; Montejo, I; Cubillas, N. 2012. Caracterización bromatológica de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray en dos etapas de su ciclo fisiológico. *Pastos y forrajes*, 35(3):275-282.
- Lombo, DF. 2012. Evaluación de la disponibilidad de biomasa y capacidad de rebrote de leñosas forrajeras en potreros del trópico seco de Nicaragua. Tesis Magister, Turrialba, Costa Rica, CATIE. 87 p.
- Londoño, J; Mahecha, L; Angulo, J. 2019. Desempeño agronómico y valor nutritivo de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A Gray para la alimentación de bovinos. *Revista Colombiana de Ciencia Animal-RECIA*, 11(1).
- Lopez-Guerrero, I; Fontenot, JP; Garcia-Peniche, TB. 2011. Comparaciones entre cuatro métodos de estimación de biomasa en praderas de festuca alta. *Rev Mex Cienc Pecu* 2(2):209-220.
- López-Vigoa, O; Sánchez-Santana, T; Iglesias-Gómez, J. M; Lamela-López, L; Soca-Pérez, M; Arece-García, J; Milera-Rodríguez, M. 2017. Los sistemas silvopastoriles como alternativa para la producción animal sostenible en el contexto actual de la ganadería tropical. *Pastos y forrajes*, 40(2):83-95.
- Mahecha, L; Angulo, J; Barragán, W; Peri, P. 2015. Efecto de la sombra en cambios estructurales de Brachiarias asociadas a *T. diversifolia* y/o *C. argentea*. In 3° Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles: VII Congreso Internacional Sistemas Agroforestales. Ediciones INTA.
- Mahecha, L; Angulo, J; Salazar, B. 2008. Supplementation with bypass fat in silvopastoral systems diminishes the ratio of milk saturated/unsaturated fatty acids. *Tropical Animal Health Prod* 40(1):209-216. <https://doi.org/10.1007/s11250-007-9082-5>
- Mahecha, L; Escobar, JP; Suárez, JF; Restrepo, LF. 2007. *Tithonia diversifolia* (hemsl.) Gray (botón de oro) como suplemento forrajero de vacas F1 (Holstein por Cebú). *Livestock Research for Rural Development*, 19(2):1-6.
- Mahecha, L; Londoño, JD; Angulo, J. 2021. Agronomic and Nutritional Assessment of an Intensive Silvopastoral System: *Tithonia Diversifolia*, *Sambucus nigra*, *Cynodon nlemfuensis*, and *Urochloa plantaginea*. *Proc. Natl. Acad. Sci., India, Sect. B Biol. Sci.* <https://doi.org/10.1007/s40011-021-01282-7>
- Malek dos Reis, CB; Barreiro, JR; Mestieri, L. 2013. Efecto del recuento de células somáticas y patógenos de mastitis sobre la composición de la leche en vacas Gyr. *BMC Veterinary Research* 9(1) 67. <https://doi.org/10.1186/1746-6148-9-67>
- Mandebvu P; West, J; Hill, G; Gates, R; Hatfield, R; Mullinix, B; Parks, A; Caudle, A. 1999. Comparison of Tifton 85 and Coastal Bermudagrasses for Yield, Nutrient Traits, Intake, and Digestion by Growing Beef Steers. *Journal of Animal Science* 77(1):1572-1586.

- Martínez-Mamian, C; Vivas-Quila, N; Morales-Velasco, S. 2020. Agronomic response of forage mixtures in a silvopastoral system in the Colombian dry tropics. *Dyna*, 87(213):80-84.
- Martínez-Méndez, D; Enríquez-Quiroz, JF; Ortega-Jiménez, E; Esqueda-Esquivel, VA; Hernández-Garay, A; Escalante-Estrada, JAS. 2016. Rehabilitación de una pradera de pasto Insurgente con diferentes métodos de manejo. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(8):1787-1800.
- Mauricio, R; Ribeiro, R; Silveira, S; Silva, P; Calsavara, L; Pereira, L; Paciullo, D. S. 2014. *Tithonia diversifolia* for ruminant nutrition. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 2(1):82-84.
- Mazzetto, AM; Bishop, G; Styles, D; Arndt, C; Brook, R; Chadwick, D. 2020. Comparing the environmental efficiency of milk and beef production through life cycle assessment of interconnected cattle systems. *Journal of Cleaner Production*, 277(1):124108.
- Mejía-Díaz, E; Mahecha-Ledesma, L; Angulo-Arizala, J. 2017. *Tithonia diversifolia*: especie para ramoneo en sistemas silvopastoriles y métodos para estimar su consumo. *Agronomía Mesoamericana* 28(1):289-302.
- Menjura, RM; Peñuela, LM; Castañeda, RD. 2018. Influencia de la densidad de árboles de *Leucaena* en la producción lechera y nitrógeno ureico en vacas F1 Gyr x Holstein. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 65(1):36-47.
- Mertens, D. 1992. Nonstructural and structural carbohydrates. In: Large Dairy Herd Management. H.H. Van Hom y C.J. Wilcox (eds.). American Dairy Science Association' II. U'S'A. P 219-235.
- Milera, M. 2013. Contribución de los sistemas silvopastoriles en la producción y el medio ambiente. *Avances de investigación agropecuaria* 17(3):7-24.
- Mojica-Rodríguez, J.E; Castro-Rincon, E; Carulla-Fornaguera, J.E; Lascano-Aguilar, C.E. 2019. Perfil lipídico en leche de vacas en pastoreo de gramíneas en el trópico seco colombiano. *Agronomía mesoamericana* 30(2):497-515.
- Montagnini, F; Ibrahim, M; Murgueitio, E. 2013. Silvopastoral systems and climate change mitigation in Latin America. *Bois et forêts des tropiques*, 316(2):3-16.
- Montejo-Martínez, D; Díaz-Echeverría, V; Villanueva-López, G. 2020. Fine root density and vertical distribution of *Leucaena leucocephala* and grasses in silvopastoral systems under two harvest intervals. *Agroforestry System* 94(1):843–855. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00457-6>
- Montoya, E; Chará, J; Barahona-Rosales, R. 2017. The nutritional balance of early lactation dairy cows grazing in intensive silvopastoral systems. *Ciência Animal Brasileira*, 18.
- Murgueitio, R; Hernández, M; Riascos, V; Cuartas, C; Uribe, T; Lopera, J. 2007. Montaje de modelos ganaderos sostenibles basados en sistemas silvopastoriles en seis subregiones lecheras de Colombia. Fundación CIPAV. Colombia.
- Navas Panadero, A; Montaña, V. 2019. Comportamiento de *Tithonia diversifolia* bajo condiciones de bosque húmedo tropical. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 30(2):721-732.
- NRC (National Research Council). 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th rev. ed. The National Academies Press, WA, USA.

- Ochoa, E. 2012. Implementación de un banco mixto de forraje proteico en un sistema de producción de ganadería Brahman puro. Tesis Doctoral, Antiquia, Colombia, Corporación Universitaria Lasallista. 61 p.
- Orskov, ER. 1982. Protein Nutrition in Ruminants. Academy Press Limited U.K.
- Palma, J; González-Rebeles, C. 2018. Recursos arbóreos y arbustivos tropicales para una ganadería bovina sustentable. *Universidad de Colima. Universidad de Colima-REDGATRO-CONACYT.*
- Partey, S. 2011. Effect of pruning frequency and pruning height on the biomass production of *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray. *Agroforestry systems*, 83(2):181.
- Pérez, A; García-Enríquez, J; Quero-Pérez, J; Hernández, A. 2004 . A grownth analisys, specific leaf area and leaf nitrogen concentration in “mulato” grass (*Braquiaria* hibrido, 82 cv.). *Téc Pecu Méx*; 42(3):447-458. En línea: [http://www.ucv.ve/fileadmin/user\\_upload/facultad\\_agronomia/Fisiologia/Art\\_Analss\\_Cre\\_cimiento.pdf](http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_agronomia/Fisiologia/Art_Analss_Cre_cimiento.pdf)
- Pérez-Guerrero, J. 1985. Determinación de factores limitantes en el establecimiento de *Leucaena Leucocephala* para forraje en trópico húmedo bajo. Tesis Magister, Turrialba, Costa Rica, CATIE. 55 p.
- Pezo, DA. 2018. Los pastizales mejorados: su rol, usos y contribuciones a los sistemas ganaderos frente al cambio climático (en línea). Boletín técnico CATIE; No.91. Consultado 25 oct. 2020. Disponible en <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/8753>
- Poppi, DP; McLennan, SR1995). Protein and energy utilization by ruminants at pasture. *Journal of animal science*, 73(1):278-290.
- Quintero-Anzueta, S; Molina-Botero, I; Ramirez-Navas, J; Rao, I; Chirinda, N; Barahona-Rosales, R; Arango, J. 2021. Nutritional evaluation of tropical forage grass alone and grass-legume diets to reduce in vitro methane production. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 5 (1):663003.
- Ramírez-Contreras, R; Lara-Bueno, A; Uribe-Gómez, M; Cruz-León, A; Rodríguez-Trejo, DA; Valencia-Trejo, GM. 2020. Comportamiento forrajero del estrato herbáceo en diferentes densidades arbóreas de selva baja caducifolia. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(4):881-893.
- Ramos, R; V. Bufon, K; Molin, E; Walter, M; Rezende, R; Fagnani, A; Ludovico. A. 2015. Relationship between somatic cell counts and milk production and composition in jersey cows. *Rev. Salud Animal*. 37(1):137-142.
- Razz, R; Clavero, T; Urdaneta, J; Ferrer, O; Leal, M; Trompiz, K. 1999. Fracciones nitrogenadas de dos ecotipos de *Leucaena leucocephala* bajo diferentes niveles de fertilización. *Pastos y Forrajes*, 22(1).
- Razz, R; Clavero, T; Vergara, J. 2004. Cinética de degradación in situ de la *Leucaena leucocephala* y *Panicum maximum*. *Revista Científica*, 14(5):424-430.
- Restrepo, M.E; Chara, J; Barahona, R; Cuartas, C; Naranjo, J. 2014. Los sistemas silvopastoriles intensivos (sspi), herramienta de mitigación y adaptación al cambio climático. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17(1): 501-507.
- Rincón, A; Flórez, H; Ballesteros, H; León, L. 2018. Efectos de la fertilización en la productividad de una pastura de *Brachiaria humidicola* cv. Llanero en el Piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 6(3):158-168.

- Rivera, JE; Chará, J; Barahona, R. 2019. CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O emissions from grasslands and bovine excreta in two intensive tropical dairy production systems. *Agroforestry Systems*. 93(3):915-928.
- Rivera, JE; Cuartas, CA; Naranjo, JF; Tafur, O; Hurtado, EA; Arenas, FA; Murgueitio, E. 2015. Efecto de la oferta y el consumo de *Tithonia diversifolia* en un sistema silvopastoril intensivo (SSPi), en la calidad y productividad de leche bovina en el piedemonte Amazónico colombiano. *Livestock Research for Rural Development*, 27(10):1-13.
- Rodríguez, PA; Clavero, T; Razz, R. 2001. Efecto de la altura y la frecuencia de poda en la producción de materia seca de *Acacia mangium* Willd. *Revista Forestal Centroamericana*, 35(3):38-40. En línea: <http://web.catie.ac.cr/informacion/RFCA/rev35/pagina38-40.pdf>
- Rojas-García, A; Torres-Salado, N; Maldonado-Peralta, M; Sánchez-Santillán, P; García-Balbuena, A; Mendoza-Pedroza, S; Hernández-Garay, A. 2018. Curva de crecimiento y calidad del pasto cobra (*Brachiaria* híbrido BR02/1794) a dos intensidades de corte. *Agroproductividad*, 11(5):34-39.
- Romero-Delgado, G; Echevarría-Rojas, M; Trillo-Zárate, F; Hidalgo-Lozano, V; Aguirre Terrazas, L; Robles Rodríguez, R. Núñez Delgado, J. 2020. Efecto del faique (*Acacia macracantha*) sobre el valor nutricional del pasto guinea (*Panicum maximum* Jacq.) en un sistema silvopastoril. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 31(1).
- Ruiz-González, A; Ayala-Burgos, AJ; Aguilar-Pérez, CF; Ku-Vera, JC. 2013. Efficiency of utilization of dietary nitrogen for milk production by dual-purpose cows fed increasing levels of *Leucaena leucocephala* forage mixed with *Pennisetum purpureum* grass. In *Energy and Protein Metabolism and Nutrition in Sustainable Animal Production*; Wageningen Academic Publishers: Wageningen, The Netherlands. 121–122 P.
- Sánchez González, J; Villareal, M; Soto, H. 2000. Caracterización de los componentes forrajeros de cuatro asociaciones gramíneas/*Arachis pintoi*. *Nutrición Animal Tropical* 6(1):11106-16495.
- Santiago Figueroa, I; Lara Bueno, A; Miranda-Romero, L; Huerta-Bravo, M; Krishnamurthy, L; Muñoz-González, J. 2016. Composición química y mineral de *Leucaena* asociada con pasto estrella durante la estación de lluvias. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(16):3173-3183.
- Sarabia-Salgado, L; Solorio-Sánchez, F; Ramírez-Avilés, L; Rodrigues Alves, BJ; Ku-Vera, J; Aguilar-Pérez, C; Urquiaga, S; Boddey, RM. 2020. Increase in Milk Yield from Cows through Improvement of Forage Production Using the N<sub>2</sub>-Fixing Legume *Leucaena leucocephala* in a Silvopastoral System. *Animals*. 10(1):734. <https://doi.org/10.3390/ani10040734>
- Simioni, T; Hoffmann, F; Gomes, C; Mousquer, U; Teixeira, G; Fernandes, L ; B, De-Paula. 2014. Senescência, remoção, translocação de nutrientes e valor nutritivo em gramíneas tropicais. *Pubvet* 8(1):1551-1697. Doi:10.22256/pubvet.v8n13.1743
- Sousa, L; Maurício, R; Moreira. 2010. Evaluación nutricional de pasto “*Braquiarão*” en asociación con árboles “*Aroeira*” en un sistema silvopastoril. *Agroforestry System*, 79(1):189–199. <https://doi.org/10.1007/s10457-010-9297->
- Styles, D; Gonzalez-Mejia, A; Moorby, J; Foskolos, A; Gibbons, J; 2018. Climate mitigation by dairy intensification depends on intensive use of spared grassland. *Global Change Biol*. 24(1):681- 693. <https://doi.org/10.1111/qcb.13868>.
- Toral, O; Iglesias, J. 2007. Efecto de la poda en el rendimiento de biomasa de 20 accesiones de especies arbóreas. *Pastos y Forrajes*. 30(3): 341-355.

- Torres-Salado, N; Moctezuma Villar, M; Rojas-García, A; Maldonado, M. D; Gómez, A; Sánchez-Santillán, P. 2020. Comportamiento productivo y calidad de pastos híbridos de *Urochloa* y estrella pastoreados con bovinos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(24):35-46.
- Turcios, H. 2008. Evaluación del proceso de toma de decisiones para adopción de bancos de proteína de leucaena (*Leucaena leucocephala*) y su efecto como suplemento nutricional para vacas lactantes en sistemas doble propósito en el chal, Petén, Guatemala. Tesis Magister, Turrialba, Costa Rica, CATIE. 74 p.
- Valles-de la Mora, B; Castillo-Gallegos, E; Alonso-Díaz, M. 2017. Live-weight gains of Holstein x Zebu heifers grazing a *Cratylia argentea*/Toledo-grass (*Brachiaria brizantha*) association in the Mexican humid tropics. *Agroforestry System* 91(1):1057–1068. <https://doi.org/10.1007/s10457-016-9980-5>
- Vandermeulen, S; Ramírez-Restrepo, C. A; Beckers, Y; Claessens, H; Bindelle, J. 2018. Agroforestry for ruminants: a review of trees and shrubs as fodder in silvopastoral temperate and tropical production systems. *Animal Production Science*, 58(5):767-777.
- Van-Soest, PJ; Robertson, JB; Lewis, BA. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74(1):3583-3597. doi:10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2
- Vazquez, E; Teutscherova, N; Lojka, B; Arango, J; Pulleman, M. 2020. Pasture diversification affects soil macrofauna and soil biophysical properties in tropical (silvo) pastoral systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 302(1):107083.
- Vendramini, J. M; Sollenberger, L; Soares, A; da Silva, W; L; Sanchez, J; M; Valente, A; Mullenix, M. 2014. Harvest frequency affects herbage accumulation and nutritive value of *Brachiaria* grass hybrids in Florida. *Tropical Grasslands-Forrajés Tropicales*, 2(2):197-206.
- Villalobos, L; Arce, J. 2014. Evaluación agronómica y nutricional del pasto estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) en la zona de Monteverde, Puntarenas, Costa Rica. II. Valor nutricional. *Agronomía Costarricense*, 38(1):133-145.
- Villalobos-Villalobos, L; WingChing-Jones, R. 2019. Remoción mecánica del material senescente para la recuperación de pasturas. *Agronomía Mesoamericana*, 30(3):821-840.
- Wilson, G; Zavaleta, M; López, D; Hernández, G. 2008. La citoquinina BAP retrasa la senescencia, aumenta antioxidantes, proteína y crecimiento en el pasto ovillo (*Dactylis glomerata* L.). *Agrociencia*, 42(1):799-806. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30211207006>
- WingChing-Jones, R; Pérez, R; Salazar, E. 2008. Condiciones ambientales y producción de leche de un hato de ganado Jersey en el trópico húmedo: el caso del Módulo Lechero-SDA/UCR. *Agronomía costarricense: Revista de ciencias agrícolas*, 32(1):87-94.
- Yamamoto, W; Dewi, I; Ibrahim, M. 2007. Effects of silvopastoral areas on milk production at dual-purpose cattle farms at the semi-humid old agricultural frontier in central Nicaragua. *Agricultural Systems*. 94(2):368–375. doi:10.1016/j.agsy.2006.10.011
- Yang, D; Seaton, D; Krahmer, J; Halliday, K. 2016. Photoreceptor effects on plant biomass, resource allocation, and metabolic state. *Actas de la Academia Nacional de Ciencias*, 113(27):7667-7672. DOI: 10.1073/pnas.1601309113

## 8. Anexos

**Anexo 1.** Análisis de varianza de los efectos principales e interacciones incluidas en el modelo estadístico para la producción de biomasa seca y componentes estructurales del pasto Cayman (*Urochloa* híbrido cv. CIAT BRO2/1752) en monocultivo y para dos posiciones dentro del asocio con *Leucaena diversifolia* y *Tithonia diversifolia* en el trópico húmedo de Costa Rica.

Variable	Tratamiento (T)	Ciclo (C)	TxC
Biomasa seca (kg MS m <sup>-2</sup> )	*	*	ns
Biomasa seca (kg MS ha <sup>-1</sup> )	*	*	ns
Cobertura (%)	*	*	ns
Hoja (%)	ns	*	ns
Tallo (%)	ns	*	ns
Senescente (%)	ns	*	ns
Relación hoja:tallo	ns	*	ns

\*: significativo; ns: no significativo

**Anexo 2.** Análisis de varianza de los efectos principales e interacciones incluidas en el modelo estadístico para la producción de biomasa seca, componentes estructurales y fracción comestible de *Leucaena diversifolia* y *Tithonia diversifolia* en asocio con pasto Cayman (*Urochloa* híbrido cv. CIAT Bro2/1752) en el trópico húmedo de Costa Rica.

Variable	Tratamiento (T)	Ciclo (C)	TxC
Biomasa seca (kg MS planta <sup>-1</sup> )	ns	*	*
Biomasa seca (kg MS ha <sup>-1</sup> )	ns	*	*
Hoja (%)	*	ns	ns
Tallo fino (%)	ns	ns	ns
Tallo grueso (%)	*	*	*
Senescente (%)	*	*	*
Relación hoja:tallo	*	ns	ns
Fracción comestible (%)	*	*	*

\*: significativo; ns: no significativo

**Anexo 3.** Análisis de varianza de los efectos principales e interacciones incluidas en el modelo estadístico para las variables de valor nutricional del pasto Cayman (*Urochloa* híbrido cv. CIAT Bro2/1752) en monocultivo (CM), y para dos posiciones dentro del asocio con *Leucaena diversifolia* (CL1: CL2) y *Tithonia diversifolia* (CT1:CT2), en el trópico húmedo de Costa Rica.

Variable	Tratamiento (T)	Ciclo (C)	TxC
MS (%)	*	*	ns
PC (%)	*	*	ns
FDN (%)	ns	*	ns
FDA (%)	ns	*	ns
Lignina (%)	ns	*	*
TND (%)	ns	*	ns
EM (Mcal kg <sup>-1</sup> MS)	ns	*	ns
ENL (Mcal kg <sup>-1</sup> MS)	ns	*	ns
CNF (%)	ns	*	ns

\*: significativo; ns: no significativo; MS: materia seca; PC: proteína cruda; FND: fibra detergente neutro; FDA: fibra detergente ácido; TND: total de nutrientes digeribles; EM: energía metabolizable; ENL: energía neta de lactancia; CNF: carbohidratos no fibrosos.

**Anexo 4.** Análisis de varianza de los efectos principales e interacciones incluidas en el modelo estadístico para las variables de calidad nutricional de la fracción comestible de *Leucaena diversifolia* y *Tithonia diversifolia* en asocio con pasto Cayman (*Urochloa* híbrido cv. CIAT Bro2/1752) durante tres ciclos de cosecha en el trópico húmedo de Costa Rica.

Variable	Tratamiento (T)	Ciclo (C)	TxC
MS (%)	*	ns	ns
PC (%)	*	*	*
FDN (%)	ns	*	*
FDA (%)	ns	ns	*
Lignina (%)	ns	*	*
TDN (%)	ns	ns	*
EM (Mcal kg <sup>-1</sup> MS)	ns	ns	*
ENL (Mcal kg <sup>-1</sup> MS)	ns	ns	*
CNF (%)	ns	*	*

\*: significativo; ns: no significativo; MS: materia seca; PC: proteína cruda; FND: fibra detergente neutro; FDA: fibra detergente ácido; TND: total de nutrientes digeribles; EM: energía metabolizable; ENL: energía neta de lactancia; CNF: carbohidratos no fibrosos.

**Anexo 5.** Análisis de varianza de los efectos principales e interacciones incluidas en el modelo estadístico para las variables producción de leche diaria, composición láctea y contenido de nitrógeno ureico en leche en vacas en pastoreo con pasto Cayman (*Urochloa* híbrido cv. CIAT Bro2/1752) (T1), y en asocio con *Leucaena diversifolia* (T2) y *Tithonia diversifolia* (T3) en el trópico húmedo de Costa Rica.

Variable	Tratamiento (T)	Ciclo (C)	TxC
Producción Kg leche vaca <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>	*	*	ns
Grasa (%)	ns	*	ns
Proteína (%)	ns	ns	ns
Lactosa (%)	*	*	ns
ST (%)	ns	*	ns
MUN (mg dL <sup>-1</sup> )	*	*	ns

\*: significativo; ns: no significativo; ST: Sólidos totales; MUN: nitrógeno ureico en leche.