

Artículo científico

Inclusión de *Tithonia diversifolia* sobre la calidad de ensilajes de Cuba OM22 con la adición de *Musa sp.*¹Brayan Rodríguez-Badilla², Ricardo Alvarez-Brito³, Michael López-Herrera⁴

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de la inclusión de *Tithonia diversifolia* sobre las características físicas, fermentativas y nutricionales de los ensilados de pasto Cuba OM22 con guineo cuadrado. El estudio se llevó a cabo entre setiembre del 2020 y julio del 2021. Se utilizó un diseño irrestricto completamente al azar donde se mezclaron pasto Cuba OM22 con botón de oro (*Tithonia diversifolia*) en las proporciones porcentuales 0:100, 25:75, 50:50, 75:25 y 100:0. A estas mezclas proporcionadas se les agregó 10% de *Musa sp.* y 5% de melaza en base fresca. El ensilaje se desarrolló en microsilos de bolsa plástica de 5 kg con cierre hermético durante 60 días. Se encontró que el forraje de *T. diversifolia* afecta las características físicas de los ensilados, sobre todo en color y textura; mientras que el pH no fue diferente entre los tratamientos. La concentración de materia seca disminuyó al igual que la fibra detergente neutro (FDN) y la fibra detergente neutro digestible (dFDN). Por otra parte, la *T. diversifolia* aumentó los contenidos de proteína Cruda (PC) y carbohidratos no fibrosos (CNF). El incremento encontrado fue de 0,5 puntos porcentuales en la PC, en los CNF el aumento fue de 4,25 puntos porcentuales y la FDN se redujo a razón de 5 puntos. En todos los casos, por

¹Esta investigación forma parte del trabajo final del primer autor para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia, Universidad de Costa Rica.

²Colegio Técnico Profesional Umberto Melloni Campanini, San Vito, Puntarenas. Correo electrónico: brodbad@hotmail.com.

³Finca Lechería Bijagua, Upala, Alajuela. Correo electrónico: rxab2ster@gmail.com.

⁴Universidad de Costa Rica, Escuela de Zootecnia, Centro de Investigación en Nutrición Animal, San José, Costa Rica. Autor para correspondencia: michael.lopez@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0003-4301-9900>).

Recibido: 21 febrero 2022 Aceptado: 29 agosto 2022

Esta obra está bajo licencia internacional Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas 4.0.



cada incremento de 25% en la inclusión de *T. diversifolia*, estos efectos se reflejaron en un aumento de la cantidad de nutrientes digestibles de los ensilados. En conclusión, la inclusión de *T. diversifolia* permitió mejorar la calidad nutricional de los ensilados sin afectar el proceso fermentativo, aunque su calidad física sí pudo verse afectada debido a la mayor humedad que posee el forraje de esta arbustiva.

Palabras clave: Ensilaje, bancos forrajeros, nutrición animal, *Musa*, proteína, energía.

ABSTRACT

Inclusion of *Tithonia diversifolia* on the quality of Cuba OM22 and *Musa sp.* The objective of this study was to determine the effect of the inclusion of *Tithonia diversifolia* on the physical, fermentative, and nutritional characteristics of Cuba OM22 grass with *Musa sp.* silage. The study was carried out between September 2020 and July 2021. An unrestricted, randomized design was used to mix Cuba OM22 grass and wild sunflower (*Tithonia diversifolia*) in percentage ratios of 0:100, 25:75, 50:50, 75:25, and 100:0. 10% of *Musa sp.* and 5% of molasses were added on a fresh basis to these previous mixtures. The silage was prepared in a 5 kg plastic bag of microsilos with hermetic closure for 60 days. *T. diversifolia* forage affected the physical characteristics of the silage, mainly color, and texture, while pH was not different between the treatments. The concentration of dry matter decreased as well as the neutral detergent fiber (NDF) and the digestible neutral detergent fiber (dFDN). On the other hand, *T. diversifolia* increased the contents of crude protein (PC) and non-fibrous carbohydrates (NFC). PC raises 0.5 percentage points, while NFC increases 4.25 percentage points, and NDF reduces at a rate of 5.0 points. In all cases, for each increase of 25% of *T. diversifolia*, those effects were reflected in the increase of the number of digestible nutrients on the silage. In conclusion, the inclusion of *T. diversifolia*, allowed to improve the nutritional quality of the silages, without affecting the fermentation process, although its physical quality could be affected due to the higher humidity of the shrub utilized.

Keywords: Silage, fodder banks, animal nutrition, *Musa*, protein, energy.

INTRODUCCIÓN

Los rumiantes tienen la capacidad para convertir los materiales ricos en celulosa, como los pastos y forrajes, en alimentos para consumo humano, gracias a los microorganismos que habitan en sus preestómagos (Dijkstra et al., 2011). Sin embargo, la composición nutricional de los recursos forrajeros puede cambiar de acuerdo con la disponibilidad o escasez de lluvias (Ferreira et al., 2014), que en consecuencia afecta el consumo de nutrientes por parte de los animales (Poppi et al., 2018). Este efecto es de especial importancia en los sistemas de alimentación de los rumiantes en condiciones tropicales, ya que estos programas de alimentación incluyen los forrajes como la principal fuente de nutrientes (Ramírez-Rivera et al., 2010).

Debido a estas situaciones, es necesario desarrollar alternativas tecnológicas para la alimentación de rumiantes, que permitan proveer los nutrientes que son requeridos y que se ven limitados en las estaciones de sequía o de exceso de lluvias (Guevara et al., 2012). El uso de árboles y arbustos forrajeros permite aumentar el aporte de nutrientes, principalmente de proteína (Franzel et al., 2014). No obstante, el uso de este tipo de materiales implica que se deban complementar con fuentes de energía que optimicen el aprovechamiento de los nutrientes del forraje (Jiménez-Ferrer et al., 2015).

El botón de oro (*Tithonia diversifolia*) es un arbusto autóctono de la región de Mesoamérica, que cuenta con características favorables para ser utilizado como recurso en dietas para animales rumiantes (Paniagua-Hernández et al., 2020). Diversos estudios han demostrado que es un forraje con alta producción de biomasa de calidad en programas con bajo uso de insumos (Astúa-Ureña et al., 2021). Además, posee altas concentraciones de proteína cruda y alta degradabilidad de la materia seca (Arias-Gamboa et al., 2018; Paniagua et al., 2020).

Por otra parte, el guineo cuadrado pertenece a los híbridos triploides *Musa acuminata* x *Musa*

balbisiana, del grupo ABB (Mohapatra et al., 2010). Este material es una fuente rica en carbohidratos no fibrosos (86,3% MS) y con buena capacidad para ser utilizado como fuente de energía en dietas para rumiantes; sobre todo cuando se utiliza en estado inmaduro (Rojas-Cordero et al., 2020). En cuanto al pasto CubaOM22, es un híbrido *Cenchrus purpureus* x *Cenchrus glaucum* que se caracteriza por presentar alta producción de biomasa y digestibilidad de sus componentes, con mayor contenido proteico que otras variedades de pastos del género *Cenchrus* (Martínez et al., 2010).

El ensilaje es un proceso de conservación por vía húmeda que se genera a partir de la fermentación inducida por las bacterias que conforman parte de la microflora epífita (Villa et al., 2010); en particular, se buscan los procesos de fermentación láctica originados por las BPAL (bacterias productoras de ácido láctico) (Driehuis et al., 2018). Ha sido mediante esta técnica que se han podido conservar diversos materiales vegetales (Muck, 2010) que pueden ser empleados posteriormente en la alimentación de los rumiantes.

El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de la inclusión de forraje de *Tithonia diversifolia* sobre las características físicas, fermentativas y nutricionales de los ensilados de pasto CubaOM22 con guineo cuadrado (*Musa*, ABB).

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en dos zonas distintas del país. La cosecha de los forrajes y elaboración de los ensilados se realizó en una finca lechera comercial ubicada en Bijagua, Upala, Costa Rica. Esta finca se ubica a 430 m.s.n.m., en condiciones ambientales con un promedio de precipitación de 3400 mm al año y una temperatura de 23,5 °C (Solano y Villalobos, 2001). Las especies forrajeras utilizadas fueron pasto de corta Cuba OM22 (*Cenchrus purpureus* x *Cenchrus glaucum*) y botón de oro (*Tithonia diversifolia*), las cuales fueron cosechadas a 55 días de rebrote. El guineo cuadrado (*Musa* sp.) se cosechó de una plantación cuando el fruto se encontraba totalmente desarrollado, engrosado, aunque no estaba maduro. Por otra parte,

el trabajo de laboratorio fue realizado en los laboratorios del Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA) de la Universidad de Costa Rica.

El pasto de corta fue obtenido de una plantación de 2 años de establecimiento, sembrado a 0,8 m entre surco y a doble hilera por surco, se utilizó semilla sexual y una fertilización de 150 kg N/ha/año. Por otra parte, el forraje de botón de oro se cosechó de una parcela con una densidad de 20 000 plantas/ha, que se estableció con semilla asexual (estacas) de la variedad INTA-Quepos y que recibe una fertilización anual de 100 kg N/ha/año. Ambos forrajes recibieron un corte de uniformidad y control de arvenses antes de la cosecha para el ensilaje. Tanto el botón de oro como el pasto de corta fueron cosechados manualmente a los 55 días, para este fin se utilizó un machete con el que se cortó el pasto a 1-2 cm de altura y el botón de oro a 40 cm desde el suelo. Los frutos de guineo cuadrado fueron obtenidos de una plantación con una densidad de 1100 plantas/ha, que no recibía fertilización. En el Cuadro 1 se observan los promedios de la composición nutricional obtenidas de 2 muestras recolectadas de los materiales frescos utilizados para la elaboración de los ensilados.

Cuadro 1. Promedios de las variables de composición nutricional de las materias primas utilizadas para la elaboración de los ensilajes.

	Botón de oro	Pasto Cuba OM22	Guineo cuadrado
Materia seca (%)	15,8	17,4	21,2
Proteína cruda (% MS)	15,0	12,5	4,7
Cenizas (% MS)	11,4	13,0	4,7
Extracto etéreo (%MS)	5,3	3,4	4,7
Fibra detergente neutro (% MS)	54,8	66,6	31,2
Carbohidratos no fibrosos (%MS)	13,6	4,6	54,0
Total de nutrientes digestibles (%)	59,8	56,9	76,2

Los forrajes fueron combinados mediante el uso de la técnica de microsilos y en un diseño irrestricto completamente al azar, donde se mezclaron en base fresca proporciones porcentuales de pasto Cuba OM22 con botón de oro (*Tithonia diversifolia*) (0:100, 25:75, 50:50, 75:25 y 100:0). Una vez obtenidas las mezclas proporcionales de los forrajes, a cada mezcla se

le agregó 5% de melaza de caña de azúcar y 10% de guineo cuadrado con base en el peso fresco; además, inóculo bacteriano artesanal (1 l/ton) elaborado por fermentación a partir de suero de leche, leche, melaza y *Lactobacillus* ($1,0 \times 10^9$). Cada tratamiento fue repetido 3 veces para un total de 15 microsilos.

Todos los materiales fueron troceados con picadora eléctrica modelo JF 60 MAXXIUM, hasta obtener un tamaño de partícula aproximado de 2,5 cm. Posteriormente, se mezclaron de forma manual en bolsas de polietileno para empaque al vacío con capacidad para 5 kg y grosor de 0,063 mm. El material se depositó y se compactó manualmente, mientras que el aire se extrajo a fondo mediante una aspiradora doméstica de 2HP. Posterior a la eliminación del oxígeno, las bolsas se sellaron con cinta plástica adhesiva y se colocaron dentro de una bolsa para ensilaje en el interior de un cuarto, protegidas del ataque de aves o labores rutinarias que podrían afectar el proceso de ensilaje. Después del sellado, los silos fueron transportados y almacenados en un laboratorio en San José, donde se mantuvieron aislados de las condiciones ambientales durante 60 días.

Posterior a este tiempo, se procedió a analizar la condición de las bolsas de los ensilados, abriéndolas para realizar la calificación organoléptica de los ensilados. También, se tomaron dos submuestras: una en fresco para los análisis de fermentación y otra para realizar los análisis de composición nutricional. La calificación organoléptica se realizó por medio de la metodología descrita por Ojeda et al. (1991), en la que 100 es la mejor calificación y 11 es la peor calificación posible, a partir de la siguiente escala:

- Olor: Agradable: 54 puntos; poco agradable: 36 puntos; desagradable: 18 puntos.
- Color: Verde amarillento, verde claro, verde: 24 puntos; verde pardo, verde oscuro, verde rojizo: 16 puntos; pardo amarillo, café oscuro, café verdoso: 8 puntos.
- Textura: Bien definido, se separa fácilmente: 22 puntos; jabonoso al tacto y mal definido: 11 puntos.

También se analizó el pH como indicador fermentativo mediante la metodología descrita en WHO (2003), con el uso de un potenciómetro con electrodo de hidrógeno. En cuanto a la

composición nutricional de los ensilados, se analizó el contenido de materia seca, proteína cruda (Nx6,25), extracto etéreo y cenizas de acuerdo con los procedimientos indicados en AOAC (1998). También se analizaron las concentraciones de fibra en detergente neutro y lignina, tal y como se explica en Van-Soest et al. (1991). El contenido de fibra detergente neutro digestible y el total de nutrientes digestibles se estimaron por medio de las ecuaciones propuestas en Detmann et al. (2008). Asimismo, los carbohidratos no fibrosos se estimaron por medio de la ecuación descrita en Detmann y Filho (2010). Por último, el contenido de energía se estimó por medio de las ecuaciones indicadas en NRC (2001).

Los datos se analizaron por medio de modelos lineales y mixtos (GLMM); con previa comprobación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza mediante el programa estadístico INFOSTAT Profesional (Di-Rienzo et al., 2020), de acuerdo con la siguiente ecuación estadística:

$$y_{ijk} = \mu + S_i + E_{ijk}$$

Donde:

y_{ijk} = es la variable de respuesta.

μ = media general.

S_i = el efecto de i-ésimo de las proporciones.

E_{ijk} = Error experimental con $E \sim (0, \sigma^2)$.

También, se realizó un análisis de regresión para determinar la tasa de cambio en las variables en caso de ser significativo el efecto del tratamiento. Además, se analizó la correlación entre todas las variables bromatológicas y los indicadores fermentativos por medio de los coeficientes de correlación de Pearson. En todos los análisis de información se declaró significancia cuando $p < 0.05$. Para la comparación entre medias se utilizó la prueba de Tukey con un nivel de confianza del 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calificación organoléptica y pH

La calificación organoléptica de los tratamientos señaló diferencias significativas ($p < 0.001$) que son provocadas por el incremento en el nivel de inclusión de *T. divesifolia* (Cuadro 2). Es decir, que conforme la calificación organoléptica disminuye, aumenta la cantidad de forraje de *T. divesifolia*. De esta manera, el tratamiento con la menor calificación promedio fue el elaborado con 100% de *T. divesifolia*, mientras que la mayor calificación promedio fue obtenida en los tratamientos con inclusión 0% y 25% de la arbustiva, sin ser diferentes entre ellos.

Las principales diferencias encontradas en los tratamientos fueron en el color y en la textura de los ensilados, ya que no se detectaron diferencias en el olor de estos. En cuanto al color, se determinó que niveles de inclusión de *T. divesifolia* mayores a 50% provocan cambios desfavorables, ya que se detectaron colores pardos y cafés en lugar de los colores verdes que mostraron los tratamientos 0% y 25% de la arbustiva, sin ser diferentes entre ellos. Del mismo modo, la textura de los ensilados se vio afectada por la inclusión de *T. divesifolia*, en este caso, fue el tratamiento con 100% de inclusión de la arbustiva el que presentó la menor calificación, mientras que los tratamientos 75% y menores mostraron la mayor calificación, sin ser diferentes entre ellos. Estos cambios en el color y la textura fueron provocados por la humedad de los forrajes, que provoca reacciones por el calor y la descomposición del material vegetal (Borreani et al., 2018).

El potencial de hidrógeno (pH) no mostró diferencias significativas ($p = 0.114$) debidas al nivel de inclusión de *T. divesifolia* (Cuadro 2). Sin embargo, se determinó que existe correlación negativa con el contenido de materia seca ($\rho = -0.63$; $p = 0.012$). A pesar de no detectar diferencias entre los tratamientos, los valores de pH encontrados son menores a los reportados en otras investigaciones con plantas altas en proteína (Montero-Durán et al., 2021; Rojas-Cordero et al., 2020; Rojas-Cordero et al., 2021).

Estos valores se encuentran dentro del ámbito reportado por Kung Jr et al. (2018) para ensilados de maíz (3,7-4,0) y que permiten inhibir el crecimiento de otras bacterias o microorganismos en el silo. Estos mismos autores indican que, al incrementar la humedad de los forrajes, se reduce el valor final de pH; lo que contradice los resultados obtenidos en esta investigación. Sin embargo, otros autores han detectado un comportamiento similar (Montero-Durán et al., 2021) a los indicados en este estudio. El valor final de pH obtenido en los tratamientos pudo ser provocado por la cantidad de guineo cuadrado utilizado como aditivo de los ensilados, al igual que los aportados por la melaza y el forraje para favorecer la fermentación y la disminución de este indicador.

Cuadro 2. Medias para las variables físicas, pH y composición nutricional de ensilados a partir de la inclusión creciente de *Tithonia diversifolia*.

	% <i>Tithonia diversifolia</i>					E.E.M*	Valor p
	0	25	50	75	100		
pH	3,78	3,83	3,82	3,90	3,85	0,029	0.114
Calificación organoléptica	100 ^c	100 ^c	92 ^b	88 ^b	81 ^a	1,640	<0.001
MS (%)	18,9 ^c	18,4 ^c	17,1 ^b	16,3 ^a	16,0 ^a	0,188	<0.001
PC (% MS)	11,4 ^b	9,9 ^a	11,4 ^b	12,0 ^b	12,6 ^b	0,395	0.007
EE (% MS)	2,9	2,9	3,1	3,2	2,8	0,229	0.813
Cenizas (% MS)	13,0 ^a	12,5 ^a	12,4 ^a	12,8 ^a	13,6 ^b	0,214	0.019
CNF (% MS)	16,0 ^a	19,0 ^a	27,5 ^b	28,5 ^b	32,8 ^c	1,199	<0.001
FDN (% MS)	56,6 ^c	55,7 ^c	45,6 ^b	43,5 ^b	38,1 ^a	0,927	<0.001
Lignina (% MS)	2,1 ^a	3,6 ^b	4,1 ^c	5,5 ^d	7,1 ^e	0,099	<0.001
dFDN (% MS)	36,6 ^c	35,1 ^c	28,1 ^b	26,1 ^b	21,9 ^a	0,109	<0.001
TND (g/100gMS)	59,3 ^a	59,4 ^a	62,1 ^b	61,6 ^b	61,3 ^b	0,503	0.007

Letras diferentes en la misma fila son diferentes $p < 0.05$

* Error estándar de la media.

Materia seca y componentes intracelulares

El contenido de materia seca (MS) de los ensilados fue influenciado por la inclusión de *T. diversifolia*, donde fue posible detectar diferencias significativas ($p < 0.001$) entre los tratamientos. Tal y como se observa en el Cuadro 2, los tratamientos manufacturados con 100% de *T. diversifolia* presentaron el promedio menor de MS, en comparación con los tratamientos

manufacturados con 0% de la arbustiva. El análisis de regresión indica que cada incremento de 25% en la cantidad de *T. diversifolia* disminuye la MS en 0,75 puntos porcentuales.

Las diferencias detectadas son significativas desde el punto de vista estadístico, mas no desde el punto de vista práctico, ya que los forrajes cambian su composición nutricional de acuerdo con la disponibilidad o escasez de las lluvias (Guevara et al., 2012). Además, el contenido de MS del Cuba OM22 es similar al de la *T. diversifolia* (Cuadro 1), de modo que es esperable que las diferencias no sean evidentes entre tratamientos. Los valores de MS obtenidos son menores a los esperados para un ensilado. De acuerdo con Borreani et al. (2018), estos valores deben oscilar entre 35-45% para evitar la formación de efluentes y pérdidas de calidad en el ensilado (Griswold et al., 2010). Los valores de MS expuestos en Cuadro 1 y Cuadro 2 sugieren que pudo ocurrir pérdida de nutrientes por formación de efluentes. Sin embargo, esto no pudo ser cuantificado debido a la dificultad que ofrece la técnica de microsilos utilizada (Rojas-Cordero et al., 2020).

El contenido de proteína cruda (PC) de los ensilados muestra diferencias significativas ($p=0.007$) debidas al efecto del nivel de inclusión de *T. diversifolia* (Cuadro 2). Se determinó que la concentración de PC aumenta de manera directa con la inclusión de *T. diversifolia*. Se cuantificó que el incremento de esta fracción sucede a una tasa de 0,5 puntos porcentuales por cada 25% de incremento en la cantidad de *T. diversifolia*. El aumento de la PC es debido al mayor contenido de esta fracción en *T. diversifolia*, comparado con la concentración de proteína en Cuba OM22 (Cuadro 1). Los ensilados obtenidos en esta investigación poseen contenidos de proteína cruda mayores a los reportados por Alpízar et al. (2014) con ensilados de Sorgo:Morera, y por Castillo et al. (2009) con ensilados de maíz:vigna. Todos los tratamientos permiten mantener el adecuado funcionamiento del rumen; ya que poseen concentraciones de PC mayores a 7% MS (Calsamiglia et al., 2010), lo que permite considerarlos complementos forrajeros dentro de una dieta balanceada.

El extracto etéreo de los ensilados no fue afectado por la inclusión de forraje *T. diversifolia* (Cuadro 2). Es posible que los valores de esta fracción sean similares en ambas especies, de

manera que la sustitución no genera diferencias en los ensilados. Los valores obtenidos de extracto etéreo obtenidos en esta investigación fueron mayores a los obtenidos por Castillo et al. (2009) con ensilados de maíz:vigna.

El contenido mineral (cenizas) de las mezclas ensiladas fue influenciado por el nivel de sustitución por forraje de *T. diversifolia*. Mismo que generó diferencias significativas (Cuadro 2), donde el tratamiento con mayor contenido de cenizas fue el tratamiento 100% de *T. diversifolia*, que fue diferente al resto de los tratamientos. La diferencia entre el promedio de los tratamientos de menor inclusión de *T. diversifolia*, con respecto al tratamiento de mayor concentración, fue de 0,9 puntos porcentuales, lo que sugiere un efecto matemático que no tiene sentido práctico.

Los contenidos de cenizas en los ensilados 0% de arbustiva son similares a los analizados por Holguín et al. (2020) para ensilados de pastos del género *Cenchrus* y mezclas de pasto con *T. diversifolia* (66/33); esto permite inferir que no hubo contaminación con suelo y que podría incrementar el contenido de cenizas de los ensilados (Hoffman, 2005). Las cenizas del *T. diversifolia* y el pasto Cuba OM22 son similares (Cuadro 1), lo que pudo generar que no se generaran diferencias significativas entre los tratamientos. Asimismo, la concentración final de cenizas podría haberse visto afectada si se hubiesen generado efluentes por el bajo contenido de MS de los forrajes (Griswold et al., 2010). Una disminución en el contenido de cenizas favorece el aumento de materia orgánica, que puede ser fermentada en el rumen y aprovechada para la productividad animal (Hoffman, 2005).

La concentración de carbohidratos no fibrosos (CNF) mostró diferencias significativas ($p < 0.001$) entre los tratamientos (Cuadro 2), donde se detectó un incremento de esta fracción conforme aumentó la cantidad de forraje de *T. diversifolia* en los ensilajes. De esta manera, el tratamiento con 100% de forraje de *T. diversifolia* fue el de mayor promedio. En comparación, los tratamientos 0% y 25% fueron los de menor promedio, sin ser diferentes entre ellos. De acuerdo con el análisis de regresión, la concentración de CNF aumenta 4,25 puntos porcentuales por cada incremento de 25% en la inclusión de *T. diversifolia*; de acuerdo con la siguiente ecuación [CNF=0,17x+16,2].

La concentración de esta fracción en los tratamientos fue menor que la obtenida por Castillo et al. (2009) con ensilados de mezcla vigna-maíz (28,6% MS) en los tratamientos 0% y 25%. A partir del nivel de inclusión 50%, la concentración de CNF en los ensilados fue similar a los datos del trabajo antes mencionado, pero menor que el tratamiento 100% *T. diversifolia*. El incremento en el contenido de CNF es debido a la mayor inclusión de la arbustiva en el ensilado, ya que se ha llegado a encontrar en estos valores de concentración que oscilan entre 30-45% MS a los 56 días de edad de rebrote (Paniagua-Hernández et al., 2020). El aumento en la concentración de CNF se ha relacionado con un incremento en la digestibilidad de la materia orgánica, lo que impacta de forma positiva sobre la productividad de los rumiantes (Ma et al., 2015).

Componentes de la pared celular y la energía

El contenido de fibra detergente neutro (FDN) mostró diferencias significativas debidas a la inclusión de *T. diversifolia* ($p < 0.001$). Se pudo detectar una relación inversa entre la concentración de FDN y la inclusión de la arbustiva. De esta manera, el tratamiento 100% *T. diversifolia* fue el que presentó menor contenido de FDN, en comparación con el de 0% *T. diversifolia* que fue el de mayor concentración (Cuadro 2). La reducción de la FDN sucede, como promedio, a razón de 5,0 puntos por cada incremento de 25% en la inclusión de *T. diversifolia*. La regresión $[FDN = -0,20(x) + 57,7]$ resultó significativa ($p < 0.001$) para la estimación de la FDN. La disminución en este nutriente es provocada por la baja concentración de FDN en *T. diversifolia* en comparación con el pasto Cuba OM22 (Cuadro 1), lo que resulta en la reducción de la fibra en el ensilado.

El comportamiento encontrado es similar al reportado por Alpízar et al. (2014) en mezclas ensiladas de sorgo: morera. La reducción de la FDN supone un beneficio en la alimentación animal. Se ha determinado que altas concentraciones de esta fracción pueden afectar de forma negativa el consumo voluntario del rumiante debido a que se estimula el llenado físico del rumen, que provoca la distensión de sus paredes, generando sensación de llenura (Combs, 2014; Sousa, 2017). Por otra parte, la reducción de la FDN sucede de forma simultánea con el

aumento de concentración de los CNF; es decir, afecta la relación CNF/FDN de los ensilados, la cual oscila entre 0,28-0,86. Esto obliga a incorporar complementos alimenticios en la dieta que permitan el incremento de los CNF hasta alcanzar un valor de relación CNF/FDN de 1,37-1,70 de acuerdo con el tipo de rumiante, si se desea optimizar el uso de nutrientes sin impactar de manera negativa sobre el rumen (Ma et al., 2015; de Melo et al., 2021).

La concentración de lignina mostró diferencias significativas ($p < 0.001$) provocadas por el nivel de inclusión de *T. diversifolia* en los ensilados. Se detectó que la lignina aumenta de manera proporcional con la inclusión de la arbustiva; el promedio mayor fue del tratamiento 100% *T. diversifolia*, mientras que el tratamiento menor fue el 0%. La regresión para estimar el contenido de lignina fue significativa ($p < 0.001$) por medio de la ecuación [Lignina = $0,05(x) + 2,3$], así se pudo estimar que la lignina aumenta en promedio 1,3 puntos por cada incremento de 25% en la inclusión de *T. diversifolia*.

Los valores de lignina obtenidos en la presente investigación son menores que los encontrados por López-Herrera et al. (2017) con ensilados de pasto camerún (4,9% MS); asimismo, cabe mencionar que todos los tratamientos poseen 10% de inclusión de guineo cuadrado que incorpora lignina en la mezcla, ya que se ha determinado que posee 3-8% MS de este compuesto fenólico (Mohapatra et al., 2010; Solorzano-Herrera, 2021). El aumento en el contenido de lignina de los ensilados es provocado por una mayor concentración de este componente en el forraje de *T. diversifolia*. Se ha documentado que su concentración puede alcanzar valores de 11% MS (Arias-Gamboa et al., 2018), lo que justifica el incremento de este compuesto conforme aumenta la cantidad de *T. diversifolia* en la mezcla ensilada.

La lignina es un componente de la fibra que está relacionado con la disponibilidad de los otros componentes de la pared celular. Esto es de especial importancia si se considera que la digestibilidad de la fibra tiene mayor impacto sobre la productividad del animal, en comparación con la digestibilidad de cualquier otro nutriente (Moore y Jung 2001; Combs, 2014). Por esta razón, deben ser analizadas la concentración y el tamaño de partícula (efectividad) de la fuente de forraje; así como la cantidad de fibra que puede ser aprovechada como energía por el rumiante.

En este sentido, se determinó que la fibra detergente neutro digestible (dFDN) de los ensilados fue afectada por la inclusión de *T. diversifolia* en la mezcla ensilada. Fue posible detectar diferencias significativas ($p < 0.001$) en el contenido de dFDN, donde se encontró que, al aumentar la inclusión de la arbustiva, se disminuye la dFDN en los ensilados. El análisis de regresión resultó significativo ($p < 0.001$) y estima que dicha disminución ocurre a razón de 3,75 puntos por cada incremento de 25% de *T. diversifolia*, de acuerdo con la ecuación $[dFDN (\% MS) = -0,15(x) + 37,2]$. El mismo efecto se observa cuando se estima la dFDN como parte de la FDN, aunque las diferencias en esta expresión son menores. De igual manera, se estimó la siguiente ecuación de regresión $[dFDN (\% FDN) = -0,07(x) + 64,8]$. Las diferencias encontradas son provocadas por la disminución en la concentración de la FDN y el aumento del contenido de lignina que genera la inclusión del forraje; efecto que se hace mayor conforme aumenta la inclusión de la arbustiva. Esto es debido a que la ecuación de estimación de la dFDN considera la concentración de FDN, la concentración de lignina y la relación que existe entre ambas en el material (Detmann et al., 2008; Sampaio et al., 2012).

En cuanto al contenido de energía expresados como total de nutrientes digestibles (TND) de los ensilados, se determinó que existen diferencias significativas ($p = 0.007$) provocadas por la inclusión de *T. diversifolia* en la mezcla ensilada. En este caso, el contenido energético de los ensilados aumentó conforme se incrementó la inclusión de la arbustiva. Los tratamientos 50%, 75% y 100% fueron los de mayor contenido de energía, sin ser diferentes entre ellos (Cuadro 2). En este caso, la regresión $[TND = 0,03(x) + 59,5]$ resultó significativa ($p = 0.008$) para la estimación del contenido de energía expresado como gramos de TND.

Como se mencionó anteriormente, las diferencias encontradas en el contenido de energía de los ensilados son provocadas por la inclusión de *T. diversifolia* en los tratamientos. Sin embargo, el contenido de energía en ambos recursos forrajeros es muy similar, con una tendencia de mayor concentración de energía hacia la arbustiva (Cuadro 1); esto permite explicar la razón de que las diferencias entre los tratamientos parezcan de importancia práctica. No obstante, al comparar el contenido de energía de los tratamientos 0% y 50% *T. diversifolia*, se puede estimar

que una vaca que consume 10 kg MS podría producir 1 kg más de leche a partir de esta diferencia entre tratamientos; si se consideran los requerimientos de energía para la producción de un kilogramo de leche con 4% de grasa de las tablas de requerimientos del NRC (2001) (0,75 Mcal EN_L/kg leche).

Los datos de TND obtenidos en los tratamientos con 50% *T. diversifolia* o más fueron comparables con los ensilados de morera analizados por Rojas-Cordero et al. (2020) y los de poró y cratylia estudiados por Montero-Durán et al. (2021). Por otra parte, los ensilados con 0% *T. diversifolia* mostraron menor contenido de TND comparados con los ensilados de pasto king grass del estudio de López-Herrera et al. (2019). Esta diferencia puede deberse a que en la presente investigación se adicionó 10% de guineo cuadrado a todos los ensilados, lo que pudo mejorar el contenido de energía de la mezcla por su aporte de CNF (Cuadro 1).

CONSIDERACIONES FINALES

La inclusión de *T. diversifolia*, permitió mejorar la conservación de los recursos forrajeros mostrando parámetros favorables de ensilaje; aunque su calidad física sí pudo verse afectada debido a la mayor humedad que posee el forraje de esta arbustiva. El forraje de *T. diversifolia* aumentó la concentración de proteína cruda, redujo la cantidad de fibra y aumentó los carbohidratos no fibrosos, lo que resultó en un incremento del contenido energético de los ensilados. A partir de la información obtenida, se considera que las mezclas con nivel de inclusión de 50 y 75% de botón de oro permiten obtener un silo con uso potencial para dietas de rumiantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alpizar, A., M.I. Camacho, C. Sáenz, M.E. Campos, J. Arece y M. Esperance. 2014. Efecto de la inclusión de diferentes niveles de morera (*Morus alba*) en la calidad nutricional de ensilajes de sorgo (*Sorghum alnum*). Pastos y Forrajes, 37 (1): 55-60.

- AOAC (Association of Official Analytical Chemist). 1998. Official methods of analysis. 16th ed., 4th rev. AOAC Int., Gaithersburg, MD, USA.
- Arias-Gamboa, L.M., A. Alpizar-Naranjo, M.I. Camacho-Cascante, V. Arronis-Díaz y J. Padilla-Fallas. 2018. Producción, calidad bromatológica de la leche y los costos de suplementación con *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray, en vacas Jersey. Pastos y Forrajes, 41 (4): 266-272.
- Astúa-Ureña, M., C.M. Campos-Granados y A. Rojas-Bourrillon. 2021. Efecto de la fertilización nitrogenada y la edad de rebrote sobre las características morfológicas y rendimiento agronómico del botón de oro (*Tithonia diversifolia*) ecotipo INTA-Quepos. Nutrición Animal Tropical, 15 (1): 1-18.
- Borreani, G., E. Tabacco, R.J. Schmidt, B.J. Holmes y R.E. Muck. 2018. Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. Journal of Dairy Science, 101 (5): 3952-3979
- Calsamiglia, S., A. Ferret, C.K. Reynolds, N.B. Kristensen y A.M. Van Vuuren. 2010. Strategies for optimizing nitrogen use by ruminants. Animal, 4 (7): 1184-1196.
- Castillo, M., A. Rojas-Bourrillón, R. WingChing-Jones. 2009. Valor nutricional del ensilaje de maíz cultivado en asocio con Vigna (*Vigna radiata*). Agronomía Costarricense, 33 (1): 133-146
- Combs, D. 2014. Using In Vitro Total-Tract NDF Digestibility in Forage Evaluation. Focus on forage, 15 (2):1-3.
- de Melo, A.A.S., D.K. de Andrade Silva, A.L.R. Magalhães, F.S.B. Cordeiro, G.H.O. Almeida, G.S. de Oliveira Moraes, D.B. Cardoso y P.H.B. Pereira. 2021. Which non-fibrous carbohydrates: neutral detergent fiber ratio optimizes the use of *cactus cladodes* in diets of growing heifers? Semina: Ciências Agrárias, 42 (6SUPL2): 3947-3960.
- Detmann, E., S.C. Valadares Filho, D.S. Pina, L.T. Henriques, M.F. Paulino, K.A. Magalhães, P.A. Silva y M.L. Chizzotti. 2008. Prediction of the energy value of cattle diets based on the chemical composition of the feeds under tropical conditions. Animal Feed Science and Technology, 143 (1-4): 127-147.
- Detmann, E. y S.C. Filho. 2010. Sobre a estimação de carboidratos não fibrosos em alimentos e dietas. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, 62: 980-984.

- Dijkstra, J., O. Oenema y A. Bannink. 2011. Dietary strategies to reducing N excretion from cattle: implications for methane emissions. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 3 (5): 414-422.
- Di-Rienzo, J.A., F. Casanoves, M.G., Balzarini, L., Gonzalez, M., Tablada, y Y.C., Robledo. 2020. InfoStat versión 2019. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Driehuis, F., J.M., Wilkinson, Y., Jiang, I., Ogunade, y A.T., Adesogan. 2018. Silage review: animal and human health risks from silage. *Journal of Dairy Science*, 101 (5): 4093-4110.
- Ferreira, D.J., A.M. Zanine, R.P. Lana, M.D. Ribeiro, G.R. Alves y H.C. Mantovani. 2014. Chemical composition and nutrient degradability in elephant grass silage inoculated with *Streptococcus bovis* isolated from the rumen. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 86: 465-474.
- Franzel, S., S. Carsan, B. Lukuyu, J. Sinja y C. Wambugu. 2014. Fodder trees for improving livestock productivity and smallholder livelihoods in Africa. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 6: 98-103.
- Griswold, K.E., P.H. Craig, J.S. Graybill y S.K. Dinh. 2010. Relating dry matter density to dry matter loss within corn silage bunker silos. *Journal of Dairy Science*, 93 (E-Suppl. 1): 620.
- Guevara, G., R. Guevara, L. Curbelo, R. González, R. Pedraza, S. Martínez, y J. Estévez. 2012. Factores fundamentales de sostenibilidad de los sistemas de producción lechera en fincas comerciales con bajos insumos. Informe proyecto CITMA. Universidad de Camagüey, Cuba
- Hoffman, P. 2005. Ash content of forages. *Focus on Forages*, 7 (1):1-2.
- Holguín, V. A., M. Cuchillo-Hilario, J. Mazabel, S. Quintero y J. Mora-Delgado. 2020. Effect of a *Pennisetum purpureum* and *Tithonia diversifolia* silage mixture on in vitro ruminal fermentation and methane emission in a RUSITEC system. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 11 (1): 19-37.
- Jiménez-Ferrer, G., G. Mendoza-Martínez, L. Soto-Pinto y A. Alayón-Gamboa. 2015. Evaluation of local energy sources in milk production in a tropical silvopastoral system with *Erythrina poeppigiana*. *Tropical Animal Health and Production*, 47 (5): 903-908.

- Kung Jr, L., R.D. Shaver, R.J. Grant y R.J. Schmidt. 2018. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of Dairy Science*, 101 (5): 4020-4033.
- López-Herrera, M., A. Rojas-Bourillon y M. Castillo-Umaña. 2019. Efecto de la sustitución de King grass (*Cenchrus purpureus*) por yuca (*Manihot esculenta* Crantz) sobre la calidad nutricional del ensilaje. *Nutrición Animal Tropical*, 13(2): 21-42.
- López-Herrera, M., A. Rojas-Bourillon y C. Zumbado-Ramírez. 2017. Características nutricionales y fermentativas de ensilados de pasto Camerún con plátano Pelipita. *Agronomía Mesoamericana*, 28 (3): 629-642.
- Ma, T., Y. Tu, N.F. Zhang, K.D. Deng y Q.Y. Diao. 2015. Effect of the ratio of non-fibrous carbohydrates to neutral detergent fiber and protein structure on intake, digestibility, rumen fermentation, and nitrogen metabolism in lambs. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, 28 (10): 1419-1426
- Martínez, R.O., R. Tuero, V. Torres y R.S. Herrera. 2010. Modelos de acumulación de biomasa y calidad en las variedades de hierba elefante, Cuba CT-169, OM-22 y King grass durante la estación lluviosa en el occidente de Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 44 (2): 189-193.
- Mohapatra, D., S. Mishra y N. Sutar. 2010. Banana and its by-product utilization: an overview. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 69:323-329.
- Montero-Durán, E., A. Rojas-Bourillon y M. López-Herrera. 2021. Sustitución de *Cratylia argentea* y *Erythrina poeppigiana* por guineo cuadrado en ensilados. *Nutrición Animal Tropical*, 15 (2): 123-146.
- Moore, K.J. y H.J.G. Jung. 2001. Lignin and fiber digestion. *Journal of Range Management*, 54 (4): 420-430.
- Muck, R.E. 2010. Silage microbiology and its control through additives. *Revista Brasileira de Zootecnia* 39: 183-191.
- NRC (National Research Council). 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th ed. National Academy Press, WA, USA.

- Ojeda, F., O. Cáceres y M. Esperance. 1991. Conservación de forrajes. Cuba, Editorial Pueblo y Educación. 80 p
- Paniagua-Hernández, L.D. L.M. Arias-Gamboa, A. Alpízar-Naranjo, M.Á. Castillo-Umaña, M.I. Camacho-Cascante, J.E. Padilla-Fallas y M. Campos-Aguilar. 2020. Efecto de la densidad de siembra y edad de rebrote en la producción y composición bromatológica de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray. Pastos y Forrajes, 43 (4): 275-283.
- Poppi, D.P., S.P. Quigley, T.A.C.C.D. Silva y S. R. McLennan. 2018. Challenges of beef cattle production from tropical pastures. Revista Brasileira de Zootecnia, 47: e20160419
- Ramírez-Rivera, U., J.R. Sanginés-García, J.G. Escobedo-Mex, F. Cen-Chuc, J.A. Rivera-Lorca y P.E. Lara-Lara. 2010. Effect of diet inclusion of *Tithonia diversifolia* on feed intake, digestibility and nitrogen balance in tropical sheep. Agroforestry systems, 80 (2): 295-302.
- Rojas-Cordero, D., A. Alpízar-Naranjo, M. Castillo-Umaña y M. López-Herrera. 2020. Efecto de la inclusión de *Musa* sp. en la conservación de *Morus alba* Linn. Pastos y Forrajes, 43 (3): 210-219
- Rojas-Cordero, D., A. Alpízar-Naranjo, M. Castillo-Umaña y M. López-Herrera. 2021. Efecto de la inclusión de *Musa* sp. en la conservación de ensilajes de *Trichanthera gigantea* (Humb. & Bonpl.) Nees. Pastos y Forrajes, 44: eE04
- Sampaio, C.B., E. Detmann, S.D.C. Valadares-Filho, A.C.D. Queiroz, T.N.P. Valente, R.R. Silva, M.A. Souza y V.A.C. Costa. 2012. Evaluation of models for prediction of the energy value of diets for growing cattle from the chemical composition of feeds. Revista Brasileira de Zootecnia, 41 (9): 2110-2123
- Solano, J. y R. Villalobos. 2001. Aspectos fisiográficos aplicados a un bosquejo de regionalización geográfico climático de Costa Rica. Tópicos meteorológicos y oceanográficos, 8 (1): 26-39
- Solorzano-Herrera, G. 2021. Efecto de los alimentos húmedos y secos altos en almidón, sobre parámetros de fermentación ruminal y la producción in vitro de metano (CH₄). Tesis Lic., Universidad de Costa Rica. Costa Rica. 109 p.
- Sousa, D.O. 2017. Alteration of fiber digestibility for ruminants: effects on intake, performance, and ruminal ecosystem. Ph.D. Tesis, Universidad de São Paulo. Brasil. 63 p.

- Van Soest, P., J.B. Robertson y B.A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74: 3583-3597
- Villa, A.F., A.P. Meléndez, J.E. Carulla, M.L. Pabón y E.A. Cárdenas. 2010. Estudio microbiológico y calidad nutricional del ensilaje de maíz en dos ecorregiones de Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 23 (1): 65-77.
- WHO (World Health Organization). 2003. pH in drink water. IN: *Guidelines for drinking-water quality*, 2nd ed. Vol. 2. Health criteria and other supporting information. World Health Organization, Geneva.