



## Fertilización y edad de rebrote sobre rendimiento y composición bromatológica de *Tithonia diversifolia*<sup>1</sup>

### Fertilization and regrowth age on yield and bromatological composition of *Tithonia diversifolia*

Luis Mauricio Arias-Gamboa<sup>2</sup>, Michael López-Herrera<sup>3</sup>, Miguel Castillo-Umaña<sup>2</sup>, Andrés Alpízar-Naranjo<sup>2</sup>

- <sup>1</sup> Recepción: 21 de noviembre, 2022. Aceptación: 17 de febrero, 2023. Este trabajo formó parte de la tesis de Maestría del primer autor en Agricultura Ecológica de la Universidad Nacional de Costa Rica.
- <sup>2</sup> Universidad Nacional, Escuela de Ciencias Agrarias, Heredia, Costa Rica. [luis.arias.gamboa@una.cr](mailto:luis.arias.gamboa@una.cr) (autor para la correspondencia, <https://orcid.org/0000-0003-1214-5648>); [miguel.castillo.umana@una.cr](mailto:miguel.castillo.umana@una.cr) (<https://orcid.org/0000-0001-8114-744X>); [andres.alpizar.naranjo@una.cr](mailto:andres.alpizar.naranjo@una.cr) (<https://orcid.org/0000-0002-9612-4918>).
- <sup>3</sup> Universidad de Costa Rica, Escuela de Zootecnia, Centro de Investigación en Nutrición Animal, San José, Costa Rica. [michael.lopez@ucr.ac.cr](mailto:michael.lopez@ucr.ac.cr) (<https://orcid.org/0000-0003-4301-9900>).

## Resumen

**Introducción.** *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray es una planta con alto potencial para alimentación de rumiantes, pero con escasos estudios sobre la comparación el efecto del tipo de fertilización a distintas edades de rebrote sobre el rendimiento y composición nutricional. **Objetivo.** Evaluar el efecto del tipo de fertilizante y la edad de rebrote sobre rendimiento y composición nutricional del forraje de *Tithonia diversifolia*. **Materiales y métodos.** El trabajo se realizó durante el 2020 en la Finca Experimental Santa Lucía de la Universidad Nacional de Costa Rica. Se utilizó un diseño de parcelas divididas completamente al azar con el tipo de fertilizante como parcela principal y la edad de rebrote como subparcela, con tres repeticiones por tratamiento. Los tipos de fertilizante fueron lombricompost, urea y control sin fertilizante, el nitrógeno se aplicó a 150 kg/ha/año. Las edades de rebrote evaluadas fueron 30, 50 y 70 días para un total de nueve tratamientos. Se evaluó la producción de biomasa, relación hoja/tallo y composición nutricional. Se realizó un ANOVA de parcelas divididas para el análisis de datos. **Resultados.** El tratamiento con urea a 70 días de rebrote presentó la mayor producción de biomasa (77,18 t/ha de materia verde y 7,10 t/ha de materia seca [MS]), la mayor relación hoja/tallo (1,77) se obtuvo en el control a 30 días de rebrote. El tipo de fertilizante mostró efectos significativos sobre la MS, proteína cruda (PC), fibra detergente neutro y carbohidratos no fibrosos (CNF), mientras que la edad de rebrote por sí sola no mostró efectos significativos sobre la fibra detergente neutro digestible y CNF. El mayor contenido de PC se encontró en el tratamiento con urea a 30 días de rebrote (27,61 % PC). **Conclusión.** La fertilización y la edad de rebrote influyeron sobre el rendimiento y la composición bromatológica de la *T. diversifolia*. Estos hallazgos contribuyen a la comprensión de la optimización de la producción de *T. diversifolia* para la alimentación de rumiantes.

**Palabras clave:** forrajes, fertilizantes nitrogenados, ganadería, producción animal, alimentación de rumiantes.



## Abstract

**Introduction.** *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray is a plant with high potential for ruminant feeding, but there is limited research comparing the effects of chemical or organic fertilization at different regrowth ages on its yield and nutritional composition. **Objective.** To evaluate the effect of the type of fertilizer and the age of regrowth on the yield and nutritional composition of *Tithonia diversifolia* forage. **Materials and methods.** The work was conducted in 2020 at the Finca Experimental Santa Lucía of the Universidad Nacional de Costa Rica. A completely randomized divided plot design was employed, with fertilizer type as the main plot and regrowth age as the subplot, with three replicates per treatment. The fertilizer types tested were vermicompost, urea, and a control without fertilizer, with a nitrogen application rate of 150 kg/ha/year. The regrowth ages evaluated were 30, 50, and 70 days for a total of nine treatments. The variables evaluated were biomass production, leaf/stem relation, and nutritional composition. A split plot ANOVA was performed to analyze the data. **Results.** Among the treatments, the urea treatment with 70 days of regrowth exhibited the highest biomass production (77.18 t/ha of green matter and 7.10 t/ha of dry matter [MS]), while the control treatment with 30 days of regrowth yielded the highest leaf/stem relation (1.77). The type of fertilizer had a significant effect on the variables of MS, crude protein (PC), neutral detergent fiber, and non-fibrous carbohydrates (CNF), whereas regrowth age alone did not significantly affect digestible neutral detergent fiber and CNF. The highest PC content was observed in the urea treatment with 30 days of regrowth (27.61 % PC). **Conclusion.** Fertilization and regrowth age influenced the yield and bromatological composition of *T. diversifolia*. These findings contribute to our understanding of optimizing *T. diversifolia* production for ruminant feeding.

**Keywords:** forages, nitrogen fertilizers, animal husbandry, animal production, ruminant feed.

## Introducción

En Costa Rica, la industria agropecuaria representa un 6 % del PIB del país (Arguedas Villalobos, 2019). Del total de fincas agropecuarias costarricenses (93 017), 37 171 cuentan con producción de ganado bovino, 2348 con ganado caprino y 1792 con ovino, por lo tanto, el 44,40 % de las fincas nacionales tiene integrados los rumiantes en los sistemas productivos (Instituto Nacional de Estadística y Censo [INEC], 2014).

La alimentación de rumiantes en el trópico se basa en el uso de pastos y forrajes (Jiménez Castro, 2018), los cuales presentan desventajas como altos contenidos de fibra, bajos contenidos de proteína, de energía y baja digestibilidad aparente (Ku Vera et al., 2014). Además, la estacionalidad afecta de manera directa la productividad (Núñez-Arroyo et al., 2022), dependiente del régimen de precipitación, lo cual genera que en una época del año exista una cantidad suficiente de alimento y en otra época escasez (Villalobos et al., 2013). Por las razones planteadas anteriormente, los productores se ven obligados a buscar alternativas de recursos forrajeros que mejoren la cantidad y calidad de la biomasa ofrecida a los animales. Además, es primordial que dichas alternativas forrajeras, tengan la capacidad de producir durante todo el año y así impacten en los costos de alimentación (Vega Fonseca, 2016).

Dentro de las alternativas para aumentar la producción de biomasa de calidad, está el establecimiento de bancos forrajeros, los cuales han demostrado ser una estrategia nutricional viable para la suplementación de los rumiantes en el trópico (Cardona-Iglesias et al., 2017). Ya que, estos aumentan la disponibilidad de material vegetal consumible y de proteína de alta calidad ofrecida a los animales, a menores costos económicos. Además, de tener efectos positivos en la recuperación y conservación de suelos, debido a la fijación de nitrógeno y la promoción de relaciones planta-microorganismos que facilitan el reciclaje de nutrientes (Navas Panadero, 2019).

Una especie que ha demostrado tener un comportamiento agronómico y rendimientos óptimos en el trópico es la *Tithonia diversifolia* del orden de las asterales de la familia de las Asteraceae, esta es una planta arbustiva nativa de Mesoamérica, que posee características de rendimiento forrajero y de calidad composicional que sugieren un alto

potencial para la alimentación de rumiantes. Se adapta a suelos de baja fertilidad, tiene una adecuada producción de biomasa (275 t/ha MF anuales, alrededor de 55 t/ha MS anuales), aporta altos porcentajes de proteína cruda (PC) (entre 14,80 % y 28,70 %), carbohidratos solubles (9,65 %) y una alta degradabilidad de la materia seca (superiores al 70 %) en la dieta de los rumiantes (Arias-Gamboa et al., 2018; Astúa-Ureña et al., 2021; Gallego-Castro et al., 2017; Paniagua-Hernández et al., 2020).

El rendimiento y la calidad nutricional del forraje para la alimentación de rumiantes depende del momento óptimo de cosecha para alcanzar el punto de equilibrio entre su valor nutricional óptimo y una producción de biomasa máxima (Merlo-Maydana et al., 2017). En el caso de *T. diversifolia* existen varias investigaciones que han demostrado que la edad de cosecha juega un papel primordial sobre el rendimiento y la composición bromatológica (Guatusmal-Gelpud et al., 2020; Navas-Panadero & Montaña, 2019; Paniagua-Hernández et al., 2020).

Diversos autores han demostrado que al aplicar fertilizantes nitrogenados en la planta de *T. diversifolia* se logra un efecto positivo en el rendimiento de biomasa y los contenidos nutricionales (Botero Londoño et al., 2019; Cerdas-Ramírez, 2018; Dos Santos et al., 2021). Sin embargo, existen estudios que demuestran la respuesta de esta planta a la aplicación de fertilizante orgánico que además, de generar un aporte nutricional a la planta y suelo, es una forma de gestionar de forma eficiente los residuos sólidos de los sistemas ganaderos, también son pocos los trabajos que comparan el efecto de la fertilización química u orgánica a diferentes edades de cosecha.

El objetivo del trabajo es evaluar el efecto del tipo de fertilizante y la edad de rebrote sobre el rendimiento y composición nutricional del forraje de *Tithonia diversifolia*.

## Materiales y métodos

### Sitio de estudio

La investigación se llevó a cabo en el año 2020 durante la época lluviosa (junio-septiembre) en la Finca Experimental Santa Lucía (FESL) de la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA), ubicada en Santa Lucía, Barva de Heredia, con coordenadas 10°01'19,63" latitud norte y 84°06'43,53" longitud oeste, y altitud de 1250 m s. n. m. El suelo predominante es del orden Andisoles. La topografía varía de plana a escarpada, con suelos superficiales a profundos, moderadamente fértiles, bien estructurados y mucha pedregosidad (Arias-Gamboa, 2018). El sitio presenta una precipitación anual de 2371 mm, una humedad relativa de 78 %, y temperatura media anual de 21,50 °C (Instituto Meteorológico Nacional [IMN], 2017).

Para el establecimiento y manejo del cultivo de *T. diversifolia* se utilizó el material vegetal proveniente de la Estación del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) de La Managua, Quepos, y se estableció en un área de 1000 m<sup>2</sup> en el año 2018, a una densidad de siembra de 2 plantas/m<sup>2</sup>, con una distancia de 1 m entre surcos y 0,50 m entre plantas.

La preparación del suelo se realizó mediante el método de mínima labranza. No se aplicaron herbicidas, fertilizantes ni riego. Las características químicas del suelo donde se llevó a cabo la investigación fueron: un pH en agua de 5,80, 0,64 Cmol(+)/L de potasio, 9,80 Cmol(+)/L calcio, 2,42 Cmol(+)/L de manganeso, una acidez de 0,19 Cmol(+)/L, capacidad de intercambio catiónico (CICE) de 12,33 Cmol(+)/L, fósforo de 2 mg/L, hierro 129 mg/L, cobre 6 mg/L, zinc de 8,30 mg/L, magnesio de 9 mg/L y 3 % saturación de acidez, los análisis de suelos donde se establecieron las parcelas experimentales se llevaron a cabo en el Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica en el año 2019.

Para el establecimiento de las parcelas, se utilizaron estacas (semilla vegetativa) de 20-30 cm de longitud tomadas del primero y segundo tercio del tallo, se sembró de manera vertical una estaca por sitio. El forraje fue cosechado por primera vez a los cinco meses (150 días). Antes de iniciar el ensayo de campo, se realizó un corte de homogenización en todo el cultivo, a una altura de 0,50 m del suelo, según la metodología descrita por Arronis-Díaz (2015).

En el área total de 1000 m<sup>2</sup>, se trazaron nueve parcelas de 112 m<sup>2</sup> (8 × 14 m) con una zona de amortiguamiento de 2 m. Se utilizó un diseño de parcelas divididas completamente al azar donde se evaluaron: 1) tipo de fertilización (a nivel de parcela) con tres niveles: abono orgánico mediante el uso de lombricompost (L), urea como fertilizante químico (Q) y un control sin aplicación de fertilización (C), y 2) edad de rebrote (a nivel de subparcela) con tres niveles (edades de rebrote): 30, 50 y 70 días. En total se establecieron nueve tratamientos: L30 (fertilización orgánica / 30 días de rebrote), L50 (fertilización orgánica / 50 días de rebrote), L70 (fertilización orgánica / 70 días de rebrote), Q30 (fertilización química / 30 días de rebrote), Q50 (fertilización química / 50 días de rebrote), Q70 (fertilización química / 70 días de rebrote), C30 (sin fertilización / 30 días de rebrote), C50 (sin fertilización / 50 días de rebrote) y C70 (sin fertilización / 70 días de rebrote) con tres repeticiones por tratamiento.

Como fertilizante orgánico se utilizó lombricompost de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) producido en la FESL, a base de estiércol de ganado bovino (Cuadro 1). La cantidad de lombricompost a utilizar se calculó a partir de la concentración de nitrógeno en el humus y la materia seca del mismo, con la finalidad de proveer 150 kg/ha/año de N al terreno.

**Cuadro 1.** Composición química del lombricompost producido en la Finca Experimental Santa Lucía a base de estiércol bovino utilizado para la fertilización de las plantas de *Tithonia diversifolia*. Análisis realizado en el Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica. San Jose, Costa Rica. 2018.

**Table 1.** Chemical composition of the vermicompost produced at the Finca Experimental Santa Lucía based on bovine manure used for the fertilization of *Tithonia diversifolia* plants. Analysis carried out at the Center for Agronomic Research (CIA) of the Universidad de Costa Rica. San Jose Costa Rica. 2018.

Ms %	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	B
	mg/kg									
40	1,43	0,58	0,82	1,72	0,56	124	213	968	3813	15

Como fertilizante químico se utilizó urea, en la misma dosis que la fuente orgánica (150 kg/ha anuales de N). La materia seca de los fertilizantes fue de 98,50 % para la urea y 40 % para el lombricompost, el contenido de nitrógeno fue de 46 % en la urea y del 1,43 % en el abono orgánico. Para garantizar el aporte de 150 kg/ha anuales de N, en cada una de las parcelas experimentales se utilizaron 0,016 kg de urea por planta (331,05 kg/ha) y 1,31 kg/planta de lombricompost (26 220 kg/ha). La dosis de 150 kg/ha de N anuales se estableció con base en los resultados obtenidos en las investigaciones de Botero Londoño et al. (2019) y Cerdas-Ramírez (2018).

### Variables evaluadas

Para determinar la producción de materia seca, se cortó el forraje de veinte plantas por subparcela a una altura de 50 cm. El material fue pesado con una balanza digital modelo AXM-30K® (Universal Weight Enterprise Co., Ltd.) con capacidad máxima de medición de 30 kg y una precisión de 0,10, para estimar la producción de materia verde en kg/planta. De las 20 plantas muestreadas se tomó una submuestra representativa de 1 kg, la cual fue llevada al Laboratorio de Análisis de Productos Animales y Vegetales de la UNA (LAPAV), en donde se determinó el contenido de materia seca (MS) mediante la metodología de la Association of Official Analytical Chemist (AOAC, 1998). Se calculó la producción de biomasa en términos de MS, de cada uno de los tratamientos evaluados según la ecuación 1.

$$BMS = PMF * CMS \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde, BMS es la producción de biomasa seca en kilogramos, PMF es la producción de biomasa fresca en kilogramos y el porcentaje de materia seca.

Para la evaluación de la relación hoja/tallo se separaron las hojas y tallos de las veinte plantas muestreadas, para determinar el peso de hojas y tallos (kg) y calcular la relación hoja/tallo.

Se colectaron muestras de 1 kg de planta entera de cada una de las subparcelas, las cuales fueron troceadas en fragmentos de 2,50 cm con una picadora para forrajes de motor eléctrico de 7,50 HP, modelo ES 650 (Metalúrgica TRAPP, Ltda). Las muestras fueron empacadas en bolsas transparentes de manera individual, identificadas y trasladadas al LAPAV.

Para determinar la composición bromatológica de *T. diversifolia*, en el caso de la MS se utilizó un horno de circulación de aire forzada a 60 °C modelo OV-11 (Lab Companion, JEIO TECH), los contenidos de PC se determinaron mediante el método de Kjeldahl (Nx6,25) con digestor modelo K-446 (BÜCHI Labortechnik AG), según las metodologías descritas por el AOAC (1998). La fibra en detergente neutro (FDN), fibra en detergente ácido (FDA) y la lignina se determinaron de acuerdo con la metodología descrita por Van Soest et al. (1991), con el analizador de fibra modelo A200 (ANKON Technology). La fibra en detergente neutro digestible (dFDN) y los carbohidratos no fibrosos (CNF) se estimaron por medio de la ecuación descrita en la investigación de Detmann et al. (2008). La energía neta de lactancia (ENL), se estimó con base en las ecuaciones propuestas por el National Research Council (NRC, 2001).

A los resultados obtenidos se les realizó un análisis de varianza para parcelas divididas según lo descrito por Kaps y Lamberson (2004). Las medias se contrastaron mediante la prueba de Tukey al 5 % de significancia. La comprobación del cumplimiento de los supuestos de normalidad se comprobó mediante la prueba de Shapiro-Wilk y homogeneidad de varianza según prueba de Levene. Los datos se analizaron con el software Statistical Analysis System (SAS) versión 9.0 (SAS Institute Inc, 2009).

## Resultados

Hubo efecto estadísticamente significativo ( $p < 0,001$ ) de la fertilización, la edad de rebrote y la interacción fertilización\*edad de rebrote, en la producción de biomasa MV (t/ha de MV), MS (t/ha de MS) y la relación hoja/tallo. Se presentó una tendencia de obtener valores productivos superiores en plantas fertilizadas con urea bajo el tratamiento químico, lo que indica una respuesta positiva de *T. diversifolia* a la fertilización química (Cuadro 2) y un efecto significativo de la fertilización ( $p = 0,0402$ ).

Los valores más altos de producción de biomasa tanto en MV (77,18 t/ha MV) como en MS (7,10 t/ha MS) se encontraron en el Q70, que fue significativamente superior respecto a los demás tratamientos evaluados, seguido por los C70, Q50 y L50 (Cuadro 2). Los rendimientos más bajos tanto en MV como en MS se obtuvieron en los tratamientos con la edad de rebrote de 30 días, a esa edad de cosecha no se encontraron diferencias significativas según el tipo de fertilización. Solo hubo un efecto significativo del tipo de fertilización, en las edades de rebrote de 50 y 70 días (Cuadro 2). La relación hoja/tallo varió entre 0,39 y 1,72, los valores más bajos (0,39) se encontraron en el tratamiento Q70, con diferencias estadísticas significativas respecto a los demás tratamientos, el valor más alto se reportó en el tratamiento C30 (1,77).

Los contenidos de MS% presentaron diferencias significativas estadísticamente según el tipo de fertilizante ( $p = 0,0004$ ) y la edad de rebrote ( $p = 0,0004$ ) (Cuadro 3). El contenido de MS% más alto se encontró en las plantas sin fertilización (11,27 %), y fue significativamente diferente a los tratamientos donde se utilizó fertilizante orgánico (10,43 %) o químico (9,48 %). En el caso de la edad de rebrote los contenidos más altos se encontraron en las edades de cosecha de 50 y 70 días (10,80 y 10,56 %), respectivamente, con una significancia superior a los

**Cuadro 2.** Producción de biomasa en términos de materia verde (MV) y seca (MS) y relación hoja/tallo de la *T. diversifolia* según la fertilización orgánica o química y la edad de rebrote. Finca Experimental Santa Lucía, Heredia, Costa Rica. 2020.

**Table 2.** Biomass production in terms of green (MV) and dry (MS) matter and leaf/stem relation of *T. diversifolia* according to type of fertilization and regrowth age. Finca Experimental Santa Lucía, Heredia, Costa Rica. 2020.

Tratamiento	Producción t/ha de MV	Producción t/ha de MS	Relación hoja/tallo
C30	7,84e	0,83d	1,77a
C50	21,13cd	2,50c	1,12c
C70	36,25b	4,14b	0,81d
L30	8,22e	0,73d	1,61b
L50	23,28c	2,62c	0,92d
L70	35,96b	3,96b	0,70d
Q30	13,66de	1,18d	1,12c
Q50	38,63b	3,56b	0,60d
Q70	77,18a	7,10a	0,39e
Error estándar	0,5384	0,0551	0,0101
p-valor Fertilización	0,0037	0,0402	0,0020
p-valor edad de rebrote	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Fertilización*edad de rebrote	<0,0001	<0,0001	<0,0001

C: testigo sin fertilización, L: fertilización orgánica (lombricompost), Q: fertilización química (Urea). Edad de rebrote 30, 50 y 70. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas  $p < 0,05$  (Tukey). Producción t/ha MV: producción toneladas por hectárea de materia verde por corte. Producción t/ha de MS: producción toneladas por hectárea de materia seca por corte. / C: control without fertilization, L: organic fertilization (vermicompost), Q: chemical fertilization (urea). Regrowth age 30, 50, and 70 days. Different letters in the same column indicate significant differences  $p < 0.05$  (Tukey). Production t/ha MV: production tons per hectare of green matter per cut, Production t/ha of DM: production tons per hectare of dry matter per cut.

obtenidos en la edad de rebrote de 30 días (9,38 %). Los valores de MS% obtenidos en la presente investigación oscilaron entre 9,04 % con fertilización química, hasta el 11,27 % sin fertilización.

Los valores más altos de PC% se encontraron en el tratamiento Q30 con un valor de 27,61 %, este fue estadísticamente superior a los demás tratamientos evaluados. Los valores más bajos se obtuvieron en C70 (10,12 %). La FDN% presentó un efecto significativo para las variables de fertilización ( $p = 0,0157$ ) y edad de rebrote ( $p < 0,0001$ ) (Cuadro 3). Los contenidos más bajos de FDN se encontraron en plantas fertilizadas con lombricompost y en plantas sin fertilización con 36,14 % y 37 % de FDN, respectivamente, fueron significativamente inferiores a los obtenidos con la fertilización química (41,32 %). El FDN% más bajo se encontró en la edad de rebrote de 30 días (30,23 %), este valor fue significativamente diferente a los de las edades de 50 (37,94 %) y 70 días (46,29 %).

El FDA% y la LIG% presentaron un efecto significativo según la edad de rebrote. Los valores más bajos se observaron en plantas de la edad de 30 días, con 21,97 % y 14,99 % para FDA% y LIG%, respectivamente, y fueron significativamente diferentes a los de las edades de 50 y 70 días. La dFDN se da en un porcentaje de la FDN y para calcularla se utilizan los contenidos de LIG. La dFDN% no fue estadísticamente influenciada por alguno de los tratamientos (Cuadro 3). Los valores de dFDN variaron entre el 18,65 % y 23,54 %. Los CNF% presentaron un efecto significativo para la variable de fertilización ( $p = 0,0041$ ) (Cuadro 3). Los valores más altos se obtuvieron en los tratamientos sin fertilización (29,11 %) y con fertilización orgánica (28,54 %), y fueron significativamente superiores a los de la fertilización química (21,08 %).

Una forma de expresar la energía contenida en los alimentos es la ENL, la cual varió en función de la edad de rebrote. Los valores más altos se encontraron en las edades de 30 y 50 días con 1,42 y 1,41 Mcal/kg MS,

**Cuadro 3.** Composición bromatológica de la *T. diversifolia* según la fertilización orgánica o química y la edad de rebrote. Finca Experimental Santa Lucía. Heredia, Costa Rica. 2020.

**Table 3.** Bromatological composition of *T. diversifolia* according to type of fertilization and regrowth age. Finca Experimental Santa Lucia. Heredia, Costa Rica. 2020.

Tratamiento	MS%	PC%	FDN%	FDA%	LIG%	dFDN (%FND)	CNF%	ENL (Mcal/kg MS)
C30	10,58	19,53b	29,04	21,80	14,86	20,01	30,00	1,44
C50	11,81	12,88c	37,69	30,68	21,12	16,06	29,81	1,41
C70	11,43	10,12c	44,28	36,45	21,81	20,78	27,52	1,34
L30	8,92	22,26b	29,95	21,67	14,65	22,92	26,84	1,42
L50	11,31	13,24c	36,52	29,10	18,60	18,97	31,26	1,40
L70	11,05	12,11c	41,96	34,92	24,36	13,83	27,51	1,36
Q30	8,64	27,61a	31,71	22,45	15,46	21,79	19,36	1,38
Q50	9,27	19,13b	39,62	31,47	19,14	20,92	23,08	1,41
Q70	9,20	11,57c	52,64	41,52	22,80	27,92	20,81	1,33
Error estándar	0,094	0,250	0,462	0,446	0,912	1,665	0,527	0,006
p-valor fertilización	0,004	0,006	0,016	0,095	0,999	0,524	0,004	0,354
p-valor edad de rebrote	0,004	<0,001	<0,001	<0,001	0,030	0,808	0,180	0,001
Fertilización*edad de rebrote	0,105	0,0046	0,098	0,304	0,947	0,705	0,734	0,497

C: testigo sin fertilización, L: fertilización orgánica (lombricompost), Q: fertilización química (urea). Edad de rebrote 30, 50 y 70. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas  $p < 0,05$  (Tukey). MS%: porcentaje de MS, PC%: porcentaje de proteína cruda, FDN%: porcentaje de fibra en detergente neutro, FDA%: porcentaje de fibra en detergente ácido, LIG%: porcentaje de lignina, dFDN: en detergente neutro digestible (porcentaje de la fibra en detergente neutro), EE%: porcentaje de extracto etéreo, CNF%: porcentaje de carbohidratos no fibrosos, ENL: energía neta de lactancia. / C: control without fertilization, L: organic fertilization (vermicompost), Q: chemical fertilization (urea). Regrowth age 30, 50, and 70 days. Different letters in the same column indicate significant differences  $p < 0.05$  (Tukey). MS%: percentage of DM, PC%: percentage of crude protein, FDN%: percentage of neutral detergent fiber, FDA%: percentage of acid detergent fiber, LIG%: percentage of lignin, dFDN: in digestible neutral detergent (percentage of the neutral detergent fiber), CNF%: percentage of non-fibrous carbohydrates, ENL: net lactation energy.

respectivamente, y fueron significativamente superiores a los de la edad de 70 días (1,34 Mcal/kg MS). La fertilización no influyó de manera significativa la ENL.

## Discusión

La producción de MV y MS no fue distinta a la edad de 30 días, esto indica que con una edad igual a 30 días las plantas de *T. diversifolia* no tuvieron la capacidad de aprovechar los nutrientes del fertilizante. A la edad de 50 días de rebrote se evidenció un efecto del tipo de fertilización sobre la producción de forraje tanto en términos de MV como MS, el tratamiento Q50 fue significativamente diferente a los otros dos tratamientos de la misma edad, y superior en un 82,82 % al C50 y en un 65,94 % al L50, este comportamiento se puede explicar debido a que los fertilizantes químicos poseen la capacidad de liberar más aceleradamente los nutrientes y ser absorbidos por los forrajes que los abonos orgánicos (Santiesteban Santos et al., 2021).

Los rendimientos en MV del forraje de *T. diversifolia* obtenidos por diferentes autores son similares a los observados en esta investigación a las edades de rebrote de 50 días y a los 70 días sin fertilización y con fertilización orgánica (Arias-Gamboa, 2018; Guatusmal-Gelpud et al., 2020; Paniagua-Hernández et al., 2020). A la edad de

rebrote de 30 días el rendimiento producido en la presente investigación fue menor al compararlo con los trabajos realizados por otros autores (Guatusmal-Gelpud et al., 2020; Paniagua-Hernández et al., 2020). Para Q70 la producción fue superior a lo reportado por Paniagua-Hernández et al. (2020) 4,8 t/ha MV.

Al comparar los resultados con investigaciones en donde se aplicó fertilización nitrogenada en las plantaciones de *T. diversifolia*, estos son similares a los obtenidos en L50 (23,28 t/ha de MV), e inferiores a los obtenidos en Q50 (38,63 t/ha de MV), otros autores reportan producciones de MV de 17,33 y 20,19 t/ha por corte al utilizar niveles de fertilización nitrogenada de 160 y 250 kg/ha anuales, respectivamente (Botero Londoño et al., 2019) y producciones de 20,71 t/ha de MV al aplicar 200 kg/ha de nitrógeno anuales (Cerdas-Ramírez, 2018), ambos estudios se realizaron en plantaciones con densidades de 10 000 plantas/ha, con edades de rebrote de 50 y 49 días.

Los rendimientos en MS variaron de las 0,83 a 7,10 t/ha de MS, resultados similares fueron reportados en otras investigaciones, en las cuales la producción de biomasa de *T. diversifolia* varió entre 1 y 4,20 t/ha de MS, esta producción dependió de las condiciones edafoclimáticas (Arias-Gamboa, 2018; Castillo-Mestre et al., 2016; Guatusmal-Gelpud et al., 2020; Paniagua-Hernández et al., 2020).

En el presente estudio como en los realizados por Botero Londoño et al. (2019) y Cerdas-Ramírez (2018), se evidenció un aumento significativo en el rendimiento productivo de *T. diversifolia* al aplicar fertilización nitrogenada química. El rendimiento obtenido en Q70 (7,10 t/ha de MS) se compara al obtenido por Dos Santos et al. (2021) al aplicar riego y fertilización, se observó una relación positiva entre la fertilización y el riego sobre la producción de forraje de esta planta.

La relación hoja/tallo constituye una de las variables más importantes de analizar, debido a que de esta depende en gran medida la palatabilidad y los niveles de consumo de un forraje, la relación hoja/tallo en *T. diversifolia* varía en el rango de 0,95 y 1,40 (Gallego-Castro et al., 2017; Holguin et al., 2015), por lo que los resultados obtenidos en los tratamientos con edad de rebrote de 30, 50 y 70 días sin fertilización y fertilización orgánica estuvieron dentro de los rangos normales. En Q50 y Q70 la relación hoja/tallo disminuyó, pero fue similar a la obtenida en la investigación de Botero Londoño et al. (2019), quienes reportaron que con dosis superiores de 200 kg/ha de nitrógeno se presentó una mayor producción de tallos.

El MS% es similar al obtenido por Arronis et al. (2019), pero inferiores a los reportados por diversos autores (Argüello-Rangel et al., 2020; Jamarun et al., 2019; Paniagua-Hernández et al., 2020; Rivera et al., 2019; Vega Granados et al., 2019), quienes encontraron MS% superiores al 15 %, los valores reportados en la presente investigación pueden estar influenciados por la época del año en donde se realizaron los muestreos (época lluviosa), los porcentajes de materia seca de *T. diversifolia* se ven influenciados por las condiciones agroecológicas y el manejo del cultivo, el MS% puede variar entre 13,50 y 35 % (Rodríguez García, 2017).

Los mayores contenidos de MS en la planta *T. diversifolia* se encuentran en las hojas (Arronis et al., 2019; Botero Londoño et al., 2019), por lo que la relación hoja/tallo en las plantas pudo tener un efecto sobre los porcentajes de MS encontrados en la presente investigación, ya que los tratamientos sin fertilización fueron los de mayor relación hoja/tallo y mayor concentración de MS. Lo cual podría estar relacionado a un efecto de la fertilización nitrogenada química, ya que esta incrementa el número de brotes y aumenta la proporción de tallos con respecto a las hojas (Huaman et al., 2018), además, de acelerar el crecimiento con mayor producción de tallos (Botero Londoño et al., 2019), lo que coincide con lo observado en la presente investigación.

Con respecto a la edad de cosecha, el MS% aumentó de los 30 a los 50 días de rebrote, lo cual coincide con las investigaciones de autores como Guatusmal-Gelpud et al. (2020) y Paniagua-Hernández et al. (2020), quienes evidenciaron que conforme se incrementa la edad de cosecha aumentan los contenidos de MS. Esto puede explicarse porque la proporción de agua disminuye a medida que el forraje se va lignificando, comportamiento normal en la mayoría de los forrajes (Elizondo-Salazar, 2017).

Conforme aumentó la edad de rebrote, disminuyó el PC%, pero con un comportamiento distinto según el tipo de fertilización. Al fertilizar con urea se dio una disminución significativa conforme aumentó la edad de cosecha

del forraje, en los tratamientos control y con fertilización orgánica se dio una disminución significativa entre las edades de 30 y 50 días, pero no se encontraron diferencias significativas entre la edad de 50 y la de 70 días de rebrote (Cuadro 3). El comportamiento antes descrito puede estar relacionado a la alta disponibilidad del nitrógeno del fertilizante químico para ser absorbida por la planta, el cual se transforma en proteína (Elizondo-Salazar, 2007). Por esta razón los valores de PC% en el tratamiento con fertilización química fueron estadísticamente superiores en las edades de rebrote de 30 y 50 días.

En la edad de cosecha de 70 días los contenidos de PC del tratamiento químico no fueron significativamente diferentes a los de los tratamientos control ni con fertilización orgánica (Cuadro 3). Esto se pueden explicar debido a la baja relación hoja/tallo observada en el tratamiento Q70, el cual fue significativamente menor a los demás tratamientos (Cuadro 2). Esta información es relevante ya que este comportamiento condiciona la calidad del forraje porque la mayor cantidad de nutrientes se encuentran en las hojas (Arronis et al., 2019).

Los FDN% encontrados en la presente investigación son consistentes con los obtenidos por diversas investigaciones (Argüello-Rangel et al., 2020; Guatusmal-Gelpud et al., 2020; Paniagua-Hernández et al., 2020; Rivera et al., 2019), pero inferiores a los reportados por Botero Londoño et al. (2019), Jamarun et al. (2019), Navas Panadero & Montaña (2019), Ponce Zamora (2019) y Vega Granados et al. (2019). Se ha reportado una correlación negativa entre la relación hoja/tallo y los contenidos de fibra del forraje de *T. diversifolia* conforme aumentan los niveles de fertilización nitrogenada (Botero Londoño et al., 2019). Lo anterior coincide con el comportamiento observado entre el FDN% y la relación hoja/tallo de *T. diversifolia* en los tratamientos con fertilización química.

Los valores de FDA% son similares a los reportados en otras investigaciones (Arias-Gamboa, 2018; Paniagua-Hernández et al., 2020), pero inferiores a lo informado en diversos trabajos (Botero Londoño et al., 2019; Jamarun et al., 2019; Navas Panadero & Montaña, 2019). Valores bajos de FDA% como los encontrados en la presente investigación influyen positivamente sobre la digestibilidad de la materia seca del forraje (Arias-Gamboa, 2018). En el caso de la LIG% los resultados fueron superiores a la mayoría de los estudios encontrados, pero comparables con los de Arias-Gamboa (2018), Arronis et al. (2019) y Paniagua-Hernández et al. (2020). Valores altos de lignina en el forraje se correlacionan negativamente con la digestibilidad de la materia seca y por consiguiente, con el aporte de nutrimentos digestibles y de energía de un determinado forraje (Arias-Gamboa, 2018).

Las diferencias encontradas en los parámetros de FDA% y LIG% pueden estar vinculados a las diversas variedades de *T. diversifolia* utilizadas, densidades de siembra y edades de cosecha utilizadas en las investigaciones. No obstante, hay similitudes en los resultados de este estudio y otros que utilizaron materiales provenientes de la Estación del INTA ubicada en la Managua, Quepos, Puntarenas (Arronis et al., 2019; Arias-Gamboa, 2018; Paniagua-Hernández et al., 2020).

Los resultados obtenidos sugieren que, al incrementarse la edad de rebrote, los contenidos de FDA% y LIG% aumentan, esto puede explicarse porque a medida que el forraje madura se va lignificando, comportamiento normal en la mayoría de los forrajes (Elizondo-Salazar, 2017). Además, con el aumento de la edad de rebrote disminuye la relación hoja/tallo, debido a que las plantas tienen una mayor proporción de tallos, los cuales presentan mayores contenidos de FDA% y LIG% (Arronis et al., 2019; Navas Panadero & Montaña, 2019).

Los dFDN% encontrados en el presente estudio son similares a los obtenidos por La O et al. (2012), quienes reportaron valores entre 13 % y 16 % de la digestibilidad verdadera de la FDN en diferentes ecotipos de *T. diversifolia*. Se reportaron valores superiores a los encontrados en este estudio para la degradabilidad *in situ* de la FDN (Ponce Zamora, 2019; Valenciana et al., 2018). Cabe resaltar que en estos estudios se utilizaron metodologías distintas a las del presente trabajo para calcular la dFDN%, lo cual puede influir en la replicabilidad de los resultados. Valores inferiores dFDN% reducen la digestibilidad de la materia orgánica fermentándose en el rumen, lo que en consecuencia, reduce el valor del forraje en términos nutricionales (López-Herrera, 2017).

Los valores de dFDN encontrados en el presente estudio al compararlos con otros forrajes tropicales como *Lolium perenne*, *Kikuyuocloa clandestina*, *Cynodon nlemfuensis*, *Brachiaria sp*, *Cratylia argentea* y *Erythrina*

*poeppigiana* son bajos (Alvares Brito, 2017; Campos-Granados et al., 2015; López-Herrera, 2017), en donde los contenidos de dFDN superan el 50 % y los encontrados en la presente investigación no superan el 27,92 %. Los valores de dFDN obtenidos en el presente estudio están determinados por los contenidos de FDN, los cuales fueron bajos en comparación con otros forrajes tropicales y de lignina, con resultados muy altos en comparación con otros forrajes, debido a que la ecuación utilizada para estimar la dFDN (Detmann et al., 2008) considera las concentraciones de FDN, lignina y la relación de ambas en el material.

Los valores de CNF de esta investigación son muy superiores a los reportados por Castaño y Cardona (2015), donde se indican valores de 16 % de CNF en el forraje de *T. diversifolia* como parte de la mezcla de ensilajes, pero no se especificó la edad de cosecha ni el manejo de la planta. El menor contenido de CNF puede estar relacionado con mayores contenidos de FDN% y FDA% en los tratamientos con fertilización química.

Los CNF% son comparables a los obtenidos en trabajos con otros forrajes arbustivos utilizados para la alimentación de rumiantes en el trópico. En el caso de la morera (*Morus alba*), Rojas-Cordero et al. (2020), reportaron valores de CNF de 24,90 %, para el poró (*Erythrina poeppigiana*), Alvares-Brito (2017) reportó valores de 21,90 % de CNF y en el caso de la cratylia (*Cratylia argentea*), López-Herrera & Briceño-Arguedas (2016) encontraron valores desde 7,35 % hasta 13,29 % de CNF, dependiendo de la edad de cosecha y la época del año.

Los valores de ENL son comparables a los reportados por Guatusmal-Gelpud et al. (2020), quienes encontraron valores de 1,49 y 1,58 Mcal/kg MS en *T. diversifolia* con edades de rebrote de 60 y 80 días, respectivamente, con el empleo de la metodología de espectrofotometría por infrarrojo cercano (NIRS). Los valores de ENL cuantificados en el presente trabajo son superiores a los que muestran la gran mayoría de gramíneas utilizados en la ganadería en el trópico como *Panicum maximum*, *Cynodon nlemfuensis*, *Brachiaria sp*, *Pennisetum purpureum*, los cuales rara vez superan las 1,20 Mcal/kg MS (Arce Ramírez, 2016). Lo cual hace que el forraje de *T. diversifolia* presente un balance entre proteína y energía adecuado, que al ser incluido en la dieta de los rumiantes estimula una mayor actividad de la flora celulolítica y disminuye la actividad de los microorganismos responsables de la metanogénesis (Arias-Gamboa, 2018).

## Conclusiones

Se observó como el rendimiento productivo se relacionó con la edad de rebrote y el tipo de fertilización, donde al incrementarse la edad de rebrote se dio una mayor absorción y aprovechamiento del nitrógeno aportado por el fertilizante químico, por lo que se alcanzaron mayores rendimientos de forraje y aumentaron los contenidos de proteína cruda.

La edad de rebrote, el tipo de fertilizantes y la interacción de ambas generó un efecto sobre el crecimiento de la planta de *T. diversifolia*, donde la relación hoja:tallo en el tratamiento con fertilización química con edad de rebrote de 70 días, disminuyó con respecto a los demás tratamientos evaluados, lo cual generó un efecto negativo sobre la composición bromatológica del forraje.

En las condiciones agroclimáticas en las que se desarrolló el estudio, al utilizar la fertilización química (urea) con las edades de rebrote de 30 y 50 días, se obtuvieron las mejores relaciones entre producción de biomasa y calidad nutricional del forraje de *T. diversifolia* de la estación del INTA-Quepos.

Se recomienda realizar investigaciones con evaluaciones durante periodos de tiempo más prolongados y de esta manera poder evidenciar el efecto del fertilizante orgánico, que por sus características necesitan de un mayor tiempo para ser absorbidos y aprovechados por los forrajes.

## Referencias

- Alvares Brito, R. (2017). *Emisiones in vitro de metano y parámetros ruminales a partir de mezclas ensiladas de Cratylia (Cratylia argentea), Poró (Erythrina poeppigiana) y Guineo cuadrado (Musa acuminata x balbisiana, Grupo ABB)* [Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica]. Repositorio SIBDI de la Universidad de Costa Rica. <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/16726>
- Association of Official Analytical Chemist. (1998). *Official methods of analysis of AOAC International* (16<sup>th</sup> ed., 4<sup>th</sup> rev.). AOAC International.
- Arce Ramírez, W. (2016). *Análisis de correlación y regresión entre la metodología de producción de gas y la ecuación mecanicista del Consejo Nacional de Investigación, EE. UU., (NRC 2001) para determinar el contenido energético in vitro de forrajes* [Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica]. Repositorio SIBDI de la Universidad de Costa Rica. <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/4394>
- Arguedas Villalobos, L. S. (2019). Encadenamientos productivos y multiplicadores de empleo para la actividad económica cría de ganado vacuno a partir de la matriz insumo producto Costa Rica 2012. *E-Agronegocios*, 5(1), 1–21. <https://doi.org/10.18845/rea.v5i1.4031>
- Argüello-Rangel, J., Mahecha-Ledesma, L., & Angulo-Arizala, J. (2020). Perfil nutricional y productivo de especies arbustivas en trópico bajo, Antioquia (Colombia). *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 21(3), 1–20. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol21\\_num3\\_art:1700](https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1700)
- Arias-Gamboa, L. M. (2018). *Evaluación del uso de Botón de oro (Tithonia diversifolia) como suplemento de vacas Jersey en etapa productiva* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional]. Repositorio de la Universidad Nacional. <https://repositorio.una.ac.cr/handle/11056/14864>
- Arias-Gamboa, L. M., Alpízar-Naranjo, A., Castillo-Umaña, M., Camacho-Cascante, M. I., Arronis-Díaz, V., & Padilla-Fallas, J. (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. <https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path%5B%5D=2063>
- Arronis-Díaz, V. (2015). Banco forrajero de Botón de oro (*Tithonia diversifolia*). InfoAgro Costa Rica. <https://bit.ly/3AuUrSs>
- Arronis, V., Abarca, S., & Soto, R. (2019). Degradación ruminal Efectiva de botón de oro (*Tithonia diversifolia*). *Alcances Tecnológicos*, 14(1), 13-21. [http://revista.inta.go.cr/index.php/alcances\\_tecnologicos/article/download/198/211/](http://revista.inta.go.cr/index.php/alcances_tecnologicos/article/download/198/211/)
- Astúa-Ureña, M., Campos-Granados, C. M., & Rojas-Bourrillon, A. (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. <https://doi.org/10.15517/nat.v15i1.47521>
- Botero Londoño, J., Gómez Carabalí, A., & Botero Londoño, M. (2019). Rendimiento, parámetros agronómicos y calidad nutricional de la *Tithonia diversifolia* con base en diferentes niveles de fertilización. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10(3), 789–800. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i3.4667>
- Campos-Granados, C. M., Rojas-Bourrillon, A., & Martínez-Machado, A. (2015). *Digestibilidad in vitro de la fibra detergente neutro de 9 forrajes de piso utilizados en lecherías de altura y de bajura en Costa Rica*. Cámara Nacional de Productores de Leche. <http://proleche.com/recursos/documentos/congreso2015/poster/Poster6.pdf>

- Cardona-Iglesias, J.L., Mahecha-Ledesma, L., & Angulo-Arizala, J. (2017). Efecto sobre la fermentación *in vitro* de mezclas de *Tithonia diversifolia*, *Cenchrus clandestinum* y grasas poliinsaturadas. *Agronomía Mesoamericana*, 28(2), 405–426. <https://doi.org/10.15517/ma.v28i2.25697>
- Castaño, G., & Cardona, J. (2015). Engorde de conejos alimentado con *Tithonia diversifolia*, *Trichanthera gigantea* y *Arachis pintoi*. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 18(1), 147–154. <https://doi.org/10.31910/rudca.v18.n1.2015.463>
- Castillo-Mestre, R., Betancourt-Bagué, T., Toral-Pérez, O. C., & Iglesias-Gómez, J. M. (2016). Influencia de diferentes marcos de plantación en el establecimiento y la producción de *Tithonia diversifolia*. *Pastos y Forrajes*, 39(2), 89–93. <https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path%5B%5D=1887>
- Cerdas-Ramírez, R. (2018). Extracción de nutrientes y productividad del botón de oro (*Tithonia diversifolia*) con varias dosis de fertilización nitrogenada. *InterSedes*, 19(39), 172–187. <https://doi.org/10.15517/isucr.v19i39.34076>
- Detmann, E., Valadares Filho, S. C., Pina, D. S., Henriques, L. T., Paulino, M. F., Magalhães, K. A., Silva, P. A., & Chizzotti, M. L. (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. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.05.008>
- Dos Santos, A. M., Santos, M. V., da Silva, L. D., dos Santos J. B., Ferreira E. A., & Tuffi, L. D. (2021). Effects of irrigation and nitrogen fertilization rates on yield, agronomic efficiency and morphophysiology in *Tithonia diversifolia*. *Agricultural Water Management*, 248, Article 106782. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106782>
- Elizondo-Salazar, J. A. (2007). Producción y calidad de la biomasa de morera (*Morus alba*) fertilizada con diferentes abonos. *Agronomía Mesoamericana*, 18(2), 255–261. <https://doi.org/10.15517/am.v18i2.5055>
- Elizondo-Salazar, J. (2017). Producción de biomasa y calidad nutricional de tres forrajes cosechados a dos alturas. *Agronomía Mesoamericana*, 28(2), 329–340. <https://doi.org/10.15517/ma.v28i2.23418>
- Gallego-Castro, L. A., Mahecha-Ledesma, L., & Angulo-Arizala, J. (2017). Calidad nutricional de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray bajo tres sistemas de siembra en el trópico alto. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 213–222. <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.21671>
- Guatusmal-Gelpud, C., Escobar-Pachajoa, L. D., Meneses-Buitrago, D. H., Cardona-Iglesias, J. L., & Castro-Rincón, E. (2020). Producción y calidad de *Tithonia diversifolia* y *Sambucus nigra* en trópico altoandino colombiano. *Agronomía Mesoamericana*, 31(1), 193–208. <https://doi.org/10.15517/am.v31i1.36677>
- Holguin, V. A., Ortiz Grisalez, S., Velasco Navia, A., & Mora-Delgado, J. (2015). Evaluación multicriterio de 44 introducciones de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray en Candelaria, valle del Cauca. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 62(2), 57–72. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/remezvez/article/view/51995/51718>
- Huaman, L., Vásquez, H., & Oliva, M. (2018). Fertilizantes orgánicos en la producción de pastos nativos en Molinopampa, Amazonas-Perú. *Revista de Investigación Agroproducción Sustentable*, 2(3), 17–22. <https://doi.org/10.25127/aps.20183.399>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2014). *VI Censo Nacional Agropecuario*. <https://bd.sica.int/index.php/catalog/99/download/933>
- Instituto Meteorológico Nacional. (2017). *Datos climáticos estación meteorológica Finca Experimental Santa Lucía*. Instituto Meteorológico Nacional.

- Jamarun, N., Pazla, R., Zain, M., & Arief. (2019). Comparison of *in vitro* digestibility and rumen fluid characteristics between the tithonia (*Tithonia diversifolia*) with elephant grass (*Pennisetum purpureum*). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 287, Article 012019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/287/1/012019>
- Jiménez Castro, J. (2018). *Efecto de la época y los días de rebrote sobre la producción y la calidad nutritiva de pastos en Costa Rica* [Tesis de maestría, Universidad Nacional]. Repositorio de la Universidad Nacional. <https://repositorio.una.ac.cr/handle/11056/20919>
- Kaps, M., & Lamberson, W. R. (2004). *Biostatistics for animal science*. CABI Publishing.
- Ku Vera, J. C., Briceño, E. G., Ruiz, A., Mayo, R., Ayala, A. J., Aguilar, C. F., Solorio, F. J., & Ramírez, L. (2014). Manipulation of the energy metabolism of ruminants in the tropics: options for improving meat and milk production and quality. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 48(1), 43–53. <https://www.cjasience.com/index.php/CJAS/article/view/426>
- La O, H., González, A., Orozco, Y., Castillo, O., Ruiz, A., Estrada, F., Ríos, E., Gutiérrez, H., Bernal Valenciaga, D., Castro, B., & Hernández, Y. (2012). Composición química, degradabilidad ruminal *in situ* y digestibilidad *in vitro* de ecotipos de *Tithonia diversifolia* de interés para la alimentación de rumiantes. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 46(1), 47–53. <https://www.cjasience.com/index.php/CJAS/article/view/81>
- López-Herrera, M. (2017). *Efecto del ensilado de cuatro leguminosas en mezcla con diferentes fuentes de carbohidratos sobre la fermentación, calidad nutritiva y producción de metano* [Tesis de maestría, Universidad Nacional]. Repositorio de la Universidad Nacional. <https://repositorio.una.ac.cr/handle/11056/14132?show=full>
- López-Herrera, M., & Briceño-Arguedas, E. (2016). Efecto de la frecuencia de corte y la precipitación en el rendimiento de *Cratylia argentea* orgánica. *Nutrición Animal Tropical*, 10(1), 24–44. <https://doi.org/10.15517/nat.v10i1.24703>
- Merlo-Maydana, F., Ramírez-Avilés, L., Ayala-Burgos, A., & Ku-Vera, J. C. (2017). Efecto de la edad de corte y la época del año sobre el rendimiento y calidad de *Brachiaria brizantha* (A. Rich.) Staff en Yucatán, México. *Journal of the Selva Andina Animal Science*, 4(2), 116–127. <http://ucbconocimiento.cba.ucb.edu.bo/index.php/JSAAS/article/view/55/32>
- Navas Panadero, A. (2019). Bancos forrajeros de *Moringa oleifera*, en condiciones de bosque húmedo tropical. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 20(2), 207–218. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol20\\_num2\\_art:1457](https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num2_art:1457)
- 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. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/veterinaria/article/view/15066>
- National Research Council. (2001). *Nutrient requirements of dairy cattle* (7<sup>th</sup> ed.). The National Academy Press. <https://doi.org/10.17226/9825>.
- Núñez-Arroyo, J. M., Jiménez-Castro, J. P., Tobía-Rivero, C. M., Arias-Gamboa, L. M., Jiménez-Alfaro, E., & Padilla-Fallas, J. E. (2022). Efecto de la edad de rebrote y época del año sobre los componentes de la pared celular y la digestibilidad *in vitro* de gramíneas (II PARTE). *Nutrición Animal Tropical*, 16(2), 91–114. <https://doi.org/10.15517/nat.v16i2.52729>
- Paniagua-Hernández, D., Arias-Gamboa, L. M., Castillo-Umaña, M., Alpízar-Naranjo, A., Camacho-Cascante, I., Padilla-Fallas, J., & Campos-Aguilar, M. (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. <https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path%5B%5D=2202>
- Ponce Zamora, J. (2019). *Composición química, degradabilidad y cinética ruminal in situ del botón de oro (Tithonia diversifolia) en diferentes periodos de corte* [Proyecto de investigación, Universidad Técnica Estatal de Quevedo].

- Repositorio de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo. <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/3726/1/T-UTEQ-0032.pdf>
- Rivera, J., Lopera, J., Chará, J., Gómez-Leyva, J., Barahona, R., & Murgueito, E. (2019, May 20–22). *Genetic and morphological diversity of Tithonia diversifolia (Hemsl.) A. Gray for use in silvopastoral systems of Latin America* [Poster]. 4<sup>th</sup> World Congress on Agroforestry, Montpellier, France. <https://n9.cl/fcnqs>
- Rodríguez García, I. (2017). Potencialidades de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray en la alimentación animal. *Livestock Research for Rural Development*, 29(4), 63. <http://www.lrrd.org/lrrd29/4/idal29063.html>
- Rojas-Cordero, D., Alpizar-Naranjo, A., Castillo-Umaña, M., & López-Herrera, M. (2020). Efecto de la inclusión de *Musa* sp. en la conservación de *Morus alba* Linn. *Pastos y Forrajes*, 43(3), 210–219. <https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path%5B%5D=2184>
- Santiesteban Santos, R. S., García, T. L., José, A. F. A., & Paneque, O. S. G. (2021). Respuesta del *Sorghum bicolor* a la fertilización orgánica y mineral en la comuna xangongo, provincia Cunene, Angola. *Revista Granmense de Desarrollo Local*, 5(1), 320–334. <https://revistas.udg.co.cu/index.php/redel/article/download/2322/4482/>
- SAS Institute Inc. (2009). Statistical Analysis System SAS/STAT (Versión 9.0.). SAS Institute Inc.
- Valenciaga, D., López, J. R., Galindo, J., Ruiz T., & Monteagudo, F. (2018). Cinética de degradación ruminal de materiales vegetales de *Tithonia diversifolia* recolectados en la región oriental de Cuba. *Livestock Research for Rural Development*, 30(11), 186. <http://www.lrrd.org/lrrd30/11/daiky30186.html>
- Van Soest, P. V., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583–3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Vega Fonseca, A. (2016). *Análisis de herramientas para la estimación de gases de efecto invernadero (GEI) y su aplicación en sistemas de producción doble propósito en fincas ganaderas de la cuenca del río Jesús María, Costa Rica* [Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza]. Repositorio del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8543>
- Vega Granados, E., Sanginés García, L., Gómez Gurrola, A., Hernández Ballesteros, A., Solano, L., Escalera Valente, F., & Loya Olguin, J. (2019). Reemplazo de alfalfa con *Tithonia diversifolia* en corderos alimentados con ensilado de caña de azúcar y pulidura de arroz. *Revista Mexicana Ciencias Pecuarias*, 10(2), 267–282. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i2.4455>
- Villalobos, L., Arce, J., & WingChing, R. (2013). Producción de biomasa y costos de producción de pastos estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*), kikuyo (*Kikuyuocloa clandestina*) y ryegrass perenne (*Lolium perenne*) en lecherías de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 37(2), 91–103. <https://doi.org/10.15517/rac.v>