

Respuesta del botón de oro (*Tithonia diversifolia*) a la fertilización nitrogenada y a la edad de cosecha

Response of mexican sunflower (*Tithonia diversifolia*) to nitrogen fertilization and harvesting age

Resposta do botão-de-ouro (*Tithonia diversifolia*) à fertilização com nitrogênio e idade de colheita

DOI: 10.34188/bjaerv7n4-065

Submetido: 01/08/2024

Aprovado: 30/09/2024

María Gabriela Mora-Mora

Licenciatura en Ingeniería en Agronomía por el Instituto Tecnológico de Costa Rica
Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria
Dirección de Investigación y Desarrollo Tecnológico
Correo electrónico: mgmora@inta.go.cr

Jorge Alberto Elizondo-Salazar

Doctor of Philosophy in Animal Science por University of Pennsylvania, U.S.A
Universidad de Costa Rica, Estación Experimental Alfredo Volio Mata
Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Costa Rica
Correo electrónico: jorge.elizondosalazar@ucr.ac.cr

RESUMEN

Los sistemas productivos tanto de leche como de carne han basado entre el 40 y 90% de las dietas en forrajes, debido a que son la fuente de nutrientes más económica y abundante; sin embargo, al presentar bajas concentraciones de proteína cruda y alta concentración de componentes de la pared celular, las personas productoras han venido explorando nuevas fuentes forrajeras que permitan una producción de biomasa y una calidad nutricional constante, para reducir los costos de producción. El botón de oro es una especie promisorio por lo que el objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de diferentes dosis de fertilización nitrogenada y edades de cosecha sobre el rendimiento y composición nutricional de esta especie. Para ello se utilizó una plantación de botón de oro con un año de establecida mediante un diseño experimental de parcelas subdivididas, con observaciones en el tiempo desigualmente repetidas, asignadas de manera aleatoria. En las parcelas grandes se ubicaron las dosis de fertilizante nitrogenado y en las parcelas pequeñas la edad de cosecha. A partir de una uniformización, se programaron cosechas consecutivas cada 45, 60 y 75 días. Las dosis de fertilización nitrogenada que se utilizaron fueron de 0, 150 y 300 kg por hectárea por año aplicados en forma de urea. Se encontraron diferencias significativas para la producción de biomasa verde, la relación hoja:tallo, la altura de la planta, la concentración de materia seca, la producción de biomasa seca y para la concentración de nutrientes. El forraje de *Tithonia diversifolia* presentó adecuados rendimientos de producción y composición química con respecto a las dosis de fertilización nitrogenada y edades de corte durante la época lluviosa, lo que se sugiere que podría considerarse como una especie forrajera promisorio de interés para su utilización en alimentación animal.

Palabras clave: Producción de materia seca, valor nutricional, fertilización, edad de corte, *Tithonia diversifolia*.

RESUMO

Os sistemas de produção de leite e de carne baseiam entre 40 e 90% das dietas em forragens, porque são a fonte mais econômica e abundante de nutrientes; Porém, por apresentar baixas concentrações de proteína bruta e alta concentração de componentes da parede celular, os produtores têm explorado novas fontes forrageiras que permitam a produção de biomassa e qualidade nutricional constante, para reduzir custos de produção. O botão-de-ouro é uma espécie promissora, portanto o objetivo deste trabalho foi determinar o efeito de diferentes doses de adubação nitrogenada e idades de colheita na produtividade e na composição nutricional desta espécie. Para tanto, utilizou-se uma plantação de ranúnculo estabelecida há um ano, através de um delineamento experimental de parcelas subdivididas, com observações repetidas desigualmente ao longo do tempo, distribuídas aleatoriamente. Nas parcelas grandes foram localizadas as doses de fertilizante nitrogenado e nas parcelas pequenas a idade de colheita. Com base na uniformidade, foram programadas colheitas consecutivas a cada 45, 60 e 75 dias. As doses de adubação nitrogenada utilizadas foram 0, 150 e 300 kg por hectare por ano aplicadas na forma de uréia. Foram encontradas diferenças significativas para produção de biomassa verde, relação folha:colmo, altura de planta, concentração de matéria seca, produção de biomassa seca e concentração de nutrientes. A forrageira de *Tithonia diversifolia* apresentou rendimentos de produção e composição química adequados em relação às doses de adubação nitrogenada e idades de corte no período chuvoso, o que sugere que pode ser considerada uma espécie forrageira promissora de interesse para sua utilização na alimentação animal.

Palavras-chave: produção de matéria seca, valor nutricional, adubação, idade de corte, *Tithonia diversifolia*.

ABSTRACT

Milk and meat production systems have based between 40 and 90% of diets on forages, because they are the most economical and abundant source of nutrients. However, because of low crude protein and high cell wall components concentration, producers have been exploring new forage sources that allow for higher biomass production and constant nutritional quality in order to reduce production costs. Mexican sunflower seems to be a promising species, thus the objective of this study was to determine the effect of different doses of nitrogen fertilization and harvesting ages on yield and nutritional composition of this species. For this purpose, a Mexican sunflower plantation with one year of establishment was used through an experimental design of subdivided plots, with unequally repeated observations over time, randomly assigned. In the large plots the doses of nitrogen fertilizer were located and in the small plots the harvesting age. Based on uniformity, consecutive harvests were scheduled every 45, 60 and 75 days. Nitrogen fertilization doses used were 0, 150 and 300 kg per hectare per year applied in the form of urea. Significant differences were found for green biomass production, leaf:stem ratio, plant height, dry matter concentration, dry biomass production and nutrient concentration. *Tithonia diversifolia* presented adequate production yields and chemical composition with respect to the doses of nitrogen fertilization and cutting ages during the rainy season, which suggests that it could be considered a promising forage species of interest for animal feeding.

Keywords: dry matter yield, nutritional value, fertilization, harvesting age, *Tithonia diversifolia*.

1 INTRODUCCIÓN

El uso de pastos y forrajes para la alimentación animal ha desempeñado un papel muy importante a lo largo de la historia del ser humano. En Costa Rica durante muchos años, los sistemas productivos, tanto de leche como de carne, han basado entre el 40 y 90% de las dietas en este tipo de plantas, debido a que son la fuente de nutrientes más económica y abundante; sin embargo, presentan el inconveniente de que, en determinadas épocas del año, muestran una notable reducción en la producción de biomasa y variación en su calidad bromatológica (Jiménez-Castro, 2018).

Debido a que los pastos tropicales presentan bajas concentraciones de proteína cruda y alta concentración de componentes de la pared celular (Gallego-Castro et al., 2017), en los últimos años, las personas productoras se han visto en la obligación de explorar nuevas fuentes forrajeras que permitan una producción de biomasa y una calidad nutricional constante, con la finalidad de reducir los costos de producción que en muchos casos ha estado sustentada en la suplementación de insumos externos (Londoño et al., 2019), y es en este escenario donde la utilización de plantas forrajeras, tanto leguminosas como no leguminosas, ha cobrado especial interés. Esto reviste gran importancia, ya que algunas de estas especies presentan concentraciones de nutrientes superiores a los pastos y pueden producir importantes cantidades de biomasa comestible a lo largo del tiempo (Gutiérrez et al., 2018).

Dentro de las especies que se han explorado, se encuentra la *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray, perteneciente a la familia Asteraceae. Esta especie, conocida como botón de oro, falso girasol o girasol mexicano, es un arbusto perenne, originaria de Centroamérica y ampliamente distribuida en toda la capa del trópico y subtrópico del mundo (dos Santos-Silva et al., 2021). Su rápida expansión en el globo terrestre está relacionada con algunas características como su rápido crecimiento (Reis et al., 2018; Witt et al., 2019), estrategias reproductivas que le permite adaptarse a una amplia gama de condiciones ambientales (Santos-Gally et al., 2020), y un potencial alelopático, con efectos inhibidores del crecimiento en una amplia gama de cultivos, lo que le permite formar grandes poblaciones (Kato-Noguchi, 2020). Es además una especie multifuncional adaptada a diversos suelos, incluidos suelos ácidos, de baja fertilidad y con alto contenido de aluminio y bajas concentraciones de fósforo (Ruíz et al., 2014).

El botón de oro se ha utilizado para la alimentación de aves (Fuente-Martínez, 2019), ganado de leche (Sandin Ribeiro, 2016), ganado de carne (Pazla, 2021), ovejas (Cadena-Villegas et al., 2020), cabras (Elizondo-Salazar, 2021), como abono verde para mejorar la fertilidad del suelo (Senarathne et al., 2019; Kevin Eifediyi, 2023) y para el control de nematodos (Aswini et al., 2022). *Tithonia diversifolia* se explota también como fuente de medicina para tratar una o más dolencias, por ejemplo para tratar abscesos (Játem-Lásson et al., 1998); para las heridas e infecciones de la piel

(Frei et al., 1998; Heinrich, 2000), como antimicrobiano (Omokhua et al., 2018), para controlar la diabetes (Miura et al., 2005), para controlar la malaria, hematomas y dolores musculares (Heinrich et al., 1998; Njoroge y Bussmann, 2006; Afolayan et al., 2016); como antídoto contra la mordedura de serpiente y para tratar ectoparásitos en ganado y mejorar el apetito (Njoroge y Bussmann, 2006).

A pesar de que su uso se ha extendido en muchas zonas del mundo, especialmente para la alimentación de bovinos, existen muy pocos estudios en Costa Rica que tengan relación con su producción y su bromatología, por lo que el presente trabajo pretendió determinar el efecto de diferentes dosis de fertilización nitrogenada y edades de cosecha sobre el rendimiento y composición nutricional del botón de oro en Abangares, Guanacaste.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

El experimento se llevó a cabo en una finca ubicada en el cantón de Abangares, Guanacaste, latitud norte 10°08.801' y longitud oeste 84°58.560', a una altitud de 38 msnm y durante la época lluviosa (de abril a agosto del 2017), donde se presentó una precipitación diaria promedio de 7,1 mm, con una precipitación mínima de 0 mm y una máxima de 63,6 mm. La temperatura diaria media fue de 27,58 °C, con un mínimo de 25,4 °C y un máximo de 30,3 °C. La humedad relativa diaria promedio fue de 79,13%, donde la humedad mínima fue de 50% y la máxima fue de 91% (IMN, 2017). La finca se ubica dentro de la clasificación ecológica Bosque Húmedo Premontano Transición a Basal (Holdridge, 2009) y presenta un suelo tipo Alfisol, con textura franco arcillosa, un contenido de materia orgánica de 8,5% y un pH de 6,6% (Cuadro 1). La plantación de botón de oro, fue establecida en el año 2016 con una densidad de 10000 plantas/ha.

Cuadro 1. Análisis químico del suelo en el que se llevó a cabo el experimento. Abangares de Guanacaste, Costa Rica. 2017.

Cmol (+) / L				mg / L					%	
Ca	Mg	K	Acidez	Fe	Cu	Zn	Mn	P	pH	Sat. acidez
11,8	3,2	0,6	0,1	48,0	5,0	1,6	13,0	11,0	6,6	1,0

Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental de parcelas subdivididas, con observaciones en el tiempo desigualmente repetidas, asignadas de manera aleatoria. En las parcelas grandes se ubicaron las dosis de fertilizante nitrogenado y en las parcelas pequeñas la edad de cosecha. A partir de una uniformización, se programaron cosechas consecutivas cada 45, 60 y 75 días. Las dosis de fertilización nitrogenada que se utilizaron fueron de 0, 150 y 300 kg por hectárea por año aplicados en forma de urea (46% de N), con la siguiente estructura estadística:

$$Y_{ij}=U+D_i+ [E_j+DE_{ij}+\varepsilon]_{ij}$$

donde:

Y_{ij} = Producción de biomasa en la i-ésima dosis de fertilización y en la j-ésima edad de cosecha

U = Media poblacional

D_i = Efecto de la dosis de la fertilización nitrogenada (0, 150, 300 kg de N/Ha)

E_j = Efecto de la edad de cosecha (45, 60, 75 días)

DE_{ij} = Efecto de la interacción dosis de la fertilización nitrogenada por la edad de cosecha

ε_{ij} = Error experimental

Producción de biomasa

Para evaluar la producción de biomasa fresca por hectárea, se realizó un muestreo aleatorio del 10% de las plantas de cada parcela. Las plantas se cortaron a 60 cm del suelo y se pesaron de manera individual. Posteriormente para cada planta, se separaron las hojas del tallo y se pesó cada componente por separado. Por último, se cuartearon las hojas y los tallos, y se tomó una muestra compuesta de cada uno por separado para su posterior análisis en el laboratorio de la Estación Experimental Alfredo Volio Mata de la Universidad de Costa Rica. Cada muestra compuesta se pesó y fue transportada al laboratorio en una hielera. Una vez finalizado el muestreo, se uniformizó la parcela correspondiente. Es importante mencionar que, en este estudio, en ninguna de las edades de rebrote evaluadas, las plantas alcanzaron la floración o signos de proximidad a ella.

En el laboratorio, las muestras se secaron a 60 °C durante 48 h hasta alcanzar un peso constante. Luego, se molieron en un molino Wiley (Model #2, Arthur H. Thomas Co., PA, USA) a 1,0 mm y se les determinó el contenido de materia seca (MS) en una estufa a 105 °C (AOAC, 2007). La proteína cruda (PC) se determinó utilizando el método de Kjeldahl; mientras que el extracto etéreo (EE) y las cenizas totales según los métodos establecidos por la AOAC (2007). La fibra detergente neutro (FDN), la fibra detergente ácido (FDA) y la lignina se analizaron por el método de Van Soest et al. (1991), de acuerdo con las modificaciones para el uso de bolsas filtrantes (F-57 ANKOM® Technology) y a los procedimientos para el uso del analizador semiautomático de fibras (ANKOM® Fiber Analyzer A200, ANKOM Technology), señalados en los métodos 6 y 5 para FDN y FDA, respectivamente (ANKOM Technology, 2010). La energía bruta se determinó en una bomba calorimétrica (IKA C200).

A partir de los muestreos realizados y de los valores obtenidos en el laboratorio, se estimaron los rendimientos de biomasa seca y proteína cruda en la planta entera, hojas y tallos.

Los datos obtenidos se analizaron con el PROC GLM del paquete estadístico SAS v. 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC), realizando comparaciones para las diferentes dosis de fertilización nitrogenada y edades de rebrote. Además, se efectuó la separación de medias (Tukey) en aquellas variables que resultaron significativas ($p<0,05$).

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción de biomasa verde y biomasa seca

La producción de biomasa verde (en kilogramos por hectárea por corte), la relación hoja:tallo (tanto en verde como en seco), la altura de la planta (m), la concentración de materia seca (%) y la producción de biomasa seca (en kilogramos por hectárea por corte) para la planta entera de botón de oro, sus hojas y sus tallos, obtenidos de los cortes secuenciales efectuados a través del experimento, para cada una de las dosis de fertilización nitrogenada y edad de cosecha se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Producción (kg.ha⁻¹.corte⁻¹), altura de la planta (m), relación hoja:tallo y concentración de materia seca (%) de la planta de botón de oro fertilizada con diferentes dosis de fertilización nitrogenada y cosechada a diferentes edades en la zona de Abangares de Guanacaste, Costa Rica. 2017.

En la zona de Abangares de Guanacaste, Costa Rica, 2017.											
Componente	0 kg de N			150 kg de N			300 kg de N			EEM	P
	45 días	60 días	75 días	45 días	60 días	75 días	45 días	60 días	75 días		
Peso Verde, kg.ha ⁻¹ .corte ⁻¹											
Hojas	21800 ab	31375 a	20250 b	19250 b	23350 ab	21175 ab	23500 ab	24400 ab	26350 ab	2456,7	0,0300
Tallos	31400 c	66550 a	63700 a	31900 bc	62300 ab	64000 a	42300 abc	55500 abc	61300 abc	6908,8	0,0001
Planta entera	53200 b	97925 a	83950 ab	51150 b	85650 ab	86175 ab	65800 ab	79900 ab	87650 ab	8925,6	0,0014
Relación H:T	1,17 a	0,51 de	0,27 e	0,94 ab	0,38 de	0,28 e	0,83 bc	0,63 cd	0,50 de	0,06	0,0001
Altura, m	1,75 b	2,75 a	2,92 a	1,93 b	2,57 a	2,91 a	2,09 b	2,56 a	2,69 a	0,10	0,0001
Materia seca, %											
Hojas	11,9 ab	11,7 b	12,2 ab	12,5 ab	11,4 b	10,6 b	12,8 ab	12,2 ab	14,5 a	0,59	0,0039
Tallos	7,1 c	10,7 abc	14,2 a	8,4 bc	11,6 ab	12,9 a	8,5 bc	8,6 bc	13,5 a	0,89	0,0001
Planta entera	9,1 b	11,0 ab	13,7 a	9,9 b	11,6 ab	12,3 ab	10,0 b	9,7 b	13,8 a	0,72	0,0001
Peso seco, kg.ha ⁻¹ .corte ⁻¹											
Hojas	2587,3 bc	3658,9 a	2473,0 bc	2400,3 bc	2667,9 bc	2347,6 c	2999,1 b	2989,9 b	3833,0 a	139,3	0,0001
Tallos	2241,8 d	7132,7 ab	9022,7 a	2679,6 cd	7233,7 a	8238,2 a	3612,2 cd	4757,3 bc	8284,6 a	530,8	0,0001
Planta entera	4829,1 d	10791,6 a	11495,7 a	5079,9 cd	9901,6 ab	10585,8 a	6611,3 cd	7747,2 bc	12117,6 a	612,8	0,0001
Relación H:T	0,86 a	0,50 bc	0,34 c	0,64 abc	0,41 c	0,53 bc	0,75 ab	0,47 bc	0,48 bc	0,08	0,0001

abcde Letra diferente en una misma fila marca la diferencia entre promedios.

Se encontraron diferencias significativas ($p < 0,03$) para todas las variables indicadas y para la interacción dosis de fertilización nitrogenada y edad de cosecha ($p < 0,0001$).

De manera general y como era de esperar, la producción de biomasa verde incrementó al aumentar la dosis de fertilizante nitrogenado y la edad de cosecha, y osciló entre 51150 hasta 97925 kg por hectárea por corte. Estos valores son superiores a los reportados por Guatusmal-Gelpud et al. (2020) quienes indicaron producciones por planta entre 1,94 y 4,5 kg para el botón de oro cosechado a 60 y 80 días, respectivamente, lo que equivale a 19400 y 45000 kg por hectárea por corte. Los valores encontrados fueron también muy superiores a los encontrados por Botero-Londoño et al. (2019) con rendimientos entre 4257 y 20193 kg por hectárea por corte para plantas

cosechadas a los 50 días y a los reportados por Cerdas-Ramírez (2018) con rendimientos entre 14125 y 23000 kg por hectárea por corte para plantas cosechadas a los 49 días, fertilizada con dosis nitrogenada entre 100 y 400 kg por hectárea por año y con una densidad de siembra de 13333 plantas por hectárea.

La relación hoja:tallo en verde varió de 0,27 a 1,17 y siempre fue mayor en las edades de cosecha inferiores y a menor dosis de fertilización, ya que a edades tempranas hay mayor proporción de hoja que de tallo y a mayor dosis de fertilización las plantas presentan una mayor producción de tallos. Según Botero-Londoño et al. (2019), la relación hoja:tallo varió entre 0,79 y 1,46 y entre 0,41 y 0,51 para Cerdas-Ramírez (2018). Es importante recalcar que al incrementar la cantidad de hojas se incrementa los nutrientes disponibles para los animales y por ende se esperaría una mayor producción en los animales, relacionado con un aumento en el consumo de nutrientes.

La altura de la planta osciló entre 1,75 y 2,92 m. La altura de la planta más baja se obtuvo para los tratamientos de menor edad de cosecha, sin importar la dosis de fertilización nitrogenada. Cabanilla-Campos et al. (2021) en un estudio en Ecuador obtuvieron alturas en plantas entre 0,48 y 1,71 m, cosechado entre 30 y 75 días de edad, mientras que en Colombia se reportaron alturas entre 0,91 y 1,55 m cuando se aplicaron diferentes dosis de fertilización y se cosechó a los 50 días de edad Botero-Londoño et al. (2019).

La concentración de materia seca en las hojas osciló entre 10,6 y 14,5%; en tallos entre 7,1 y 14,2%; mientras que en la planta entera entre 9,1 y 13,7%. La concentración de MS por lo general es mayor en las hojas que en los tallos y, sin importar la parte de la planta, a mayor edad de cosecha mayor es la concentración de este nutriente. La concentración de MS fue inferior a la obtenida por Guatusmal-Gelpud et al. (2020) quienes reportaron valores entre 12,89 y 17,55%, con edades de cosecha similares a las utilizadas en este experimento, y a las obtenidas por Botero-Londoño et al. (2019) que oscilaron entre 15,1 y 18,5% en plantas cosechadas a los 50 días de rebrote y diferentes dosis de fertilización.

La producción de biomasa seca como planta entera varió de 4829,1 hasta 12117,6 kg por hectárea por corte. Estos rendimientos son superiores a los obtenidos por Cabanilla-Campos et al. (2021) quienes obtuvieron producciones de materia seca por hectárea entre 670 y 5620 kg, al cosechar entre 30 y 75 días de edad. Polo y Medina (2021) en Panamá obtuvieron rendimientos de 1628; 5082; 8759 y 15860 kg de materia seca por hectárea por corte a las 4, 8, 12 y 16 semanas, respectivamente, mientras que, en Colombia, Guatusmal-Gelpud et al. (2020) reportaron producciones por planta entre 0,25 y 0,79 kg para el botón de oro cosechado a 60 y 80 días, respectivamente, lo que equivale a 2500 y 7900 kg por hectárea por corte. Por su parte, Botero-Londoño et al. (2019) también en Colombia reportaron rendimientos entre 799 y 3045 kg de materia

seca por hectárea por corte a los 50 días. Cerdas-Ramírez (2018) en Costa Rica reportó una producción entre 3483 y 6297 kg por hectárea por corte.

Es importante indicar que las características morfoagronómicas y los rendimientos de producción tienen una estrecha relación con la madurez fisiológica de la planta, es decir que, a medida que se incrementan las edades de corte existe un incremento en las variables antes mencionadas. El incremento del rendimiento y la biomasa de la *Tithonia diversifolia* con la edad de rebrote se puede atribuir entre otros factores al aumento del proceso fotosintético y la síntesis de metabolitos necesarios para el crecimiento y desarrollo de las plantas, lo que trae consigo acumulación de materia seca (Romero y Leyva, 2014).

La fertilización de los forrajes es una práctica importante en cualquier explotación ganadera, por lo que conocer la respuesta productiva a diferentes dosis de fertilización nitrogenada y edad de cosecha permitirá identificar opciones de manejo y realizar una gestión efectiva de los recursos de las fincas. En el caso de la presente investigación, no se puede definir con una alta precisión la mejor dosis de fertilización nitrogenada ni la mejor edad de cosecha ya que se obtuvieron rendimientos muy variables para todos los tratamientos, lo que pudo deberse a una adecuada fertilidad del suelo, adecuadas condiciones climatológicas y/o a la joven edad del cultivo.

La fertilidad del suelo es un factor preponderante para el crecimiento de las plantas y tiene una gran influencia sobre la productividad y la calidad del forraje (Torres-Moya et al., 2016). Se debe recordar que las prácticas de fertilización buscan restituir los nutrientes que se extraen del suelo, de los cuales el nitrógeno es elemento más común aplicado por las personas productoras para mejorar la productividad de biomasa y el valor nutricional del forraje (Arteaga et al., 2019).

Composición nutricional

La composición química de las hojas, tallos y planta entera del botón de oro para los efectos dosis de fertilización nitrogenada y edad de cosecha se presenta en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Composición química de las hojas, tallos y planta entera del botón de oro fertilizada con diferentes dosis de fertilización nitrogenada y cosechada a diferentes edades en la zona de Abangares de Guanacaste, Costa Rica. 2017.

Fertilización nitrogenada y cosechada a diferentes edades en la zona de Abangares de Guanacaste, Costa Rica, 2017.											
Componente	0 kg de N			150 K de N			300 kg de N			EEM	P
	45 días	60 días	75 días	45 días	60 días	75 días	45 días	60 días	75 días		
Proteína cruda, %											
Hojas	35,2 a	26,1 b	26,9 b	29,1 ab	28,1 ab	26,7 b	31,5 ab	33,6 ab	30,9 ab	1,8	0,0051
Tallos	14,6 a	5,9 bc	5,9 bc	10,6 abc	7,3 bc	5,7 c	12,0 ab	11,1 abc	9,1 abc	1,3	0,0001
Planta entera	25,6 a	12,8 de	10,4 e	19,4 abcd	13,0 cde	10,4 e	20,7 ab	19,7 abc	16,1 abcde	1,5	0,0001
Proteína cruda, kg.ha ⁻¹ .corte ⁻¹											
Hojas	921,0 bcd	946,0 bc	652,9 e	670,0 de	721,3 bcd	627,3 e	941,4 bc	1004,8 ab	1182,5 a	1,8	0,0051
Tallos	321,9 bc	421,5 bc	509,7 ab	264,4 c	478,8 abc	468,3 abc	436,0 bc	523,6 ab	663,6 a	49,0	0,0001
Planta entera	1243,0	1367,5	1162,5	964,3 d	1200,1	1095,7	1377,5	1528,4	1846,1 a	89,2	0,0001

Componente	0 kg de N			150 K de N			300 kg de N			EEM	P
	45 días	60 días	75 días	45 días	60 días	75 días	45 días	60 días	75 días		
	bcd	bcd	bcd	bcd	cd	bc	ab				
Cenizas, %											
Hojas	18,8 a	17,1 ab	15,9 ab	17,0 ab	15,2 b	15,9 ab	18,3 ab	16,6 ab	17,0 ab	0,7	0,0085
Tallos	16,0 a	11,3 abcd	8,1 d	14,8 ab	9,9 bcd	9,1 cd	14,0 abc	11,7 abcd	10,8 bcd	1,1	0,0001
Planta entera	17,4 a	13,2 abc	9,8 c	15,7 ab	11,3 c	10,6 c	16,0 ab	13,6 abc	12,7 bc	1,0	0,0001
FND, %											
Hojas	40,2 ab	37,2 b	39,8 ab	42,8 ab	40,7 ab	38,7 ab	40,3 ab	44,8 a	40,6 ab	1,4	0,0189
Tallos	54,2 c	62,4 ab	62,9 ab	56,6 bc	61,8 ab	62,4 ab	56,5 bc	63,4 a	59,4 abc	1,4	0,0001
Planta entera	47,0 d	53,8 abc	57,9 ba	50,1 bcd	56,0 ab	57,1 a	49,3 cd	56,2 ab	53,5 abcd	1,4	0,0001
FAD, %											
Hojas	24,8 b	34,9 a	29,1 ab	33,0 ab	37,8 a	29,1 ab	34,5 ab	30,4 ab	34,1 ab	2,1	0,0033
Tallos	44,7 c	57,6 a	53,4 ab	52,3 ab	56,4 ab	53,8 ab	51,2 a	56,0 ab	54,8 ab	1,3	0,0001
Planta entera	34,2 d	49,9 ab	48,2 abc	43,2 c	51,2 ac	48,3 abc	43,7 bc	46,1 abc	47,9 abc	1,4	0,0001
Lignina, %											
Hojas	13,9 a	27,8 b	17,3 ab	22,1 ab	26,9 b	17,2 ab	25,5 b	20,0 ab	25,1 ab	2,5	0,0016
Tallos	10,8 a	14,8 b	14,7 b	13,2 ab	13,9 b	14,4 a	14,6 b	14,8 b	15,9 b	0,6	0,0001
Planta entera	12,7 b	19,2 a	15,2 ab	17,4 a	17,4 a	15,0 ab	19,4 a	16,8 ab	18,7 a	1,0	0,0002
Celulosa, %											
Hojas	10,9 ab	7,1 b	11,9ca	10,9 ab	11,0 ab	11,9 a	9,1 ab	10,4 ab	9,0 ab	1,0	0,0364
Tallos	33,9 c	42,8 a	38,8 abc	39,2 abc	42,4 a	39,5 ab	36,6 bc	41,1 ab	38,9 abc	1,2	0,0001
Planta entera	21,5 d	30,7 ab	33,0 a	25,8 bcd	33,8 a	33,4 a	24,3 cd	29,3 abc	29,2 abc	1,2	0,0001
Hemicelulosa, %											
Hojas	15,4 a	2,3 b	10,7 ab	9,8 ab	2,8 b	9,6 ab	5,8 ab	14,5 a	6,5 ab	2,4	0,0023
Tallos	9,6 a	4,7 ab	9,4 a	4,2 b	5,4 ab	8,6 ab	5,3 ab	7,4 ab	4,6 ab	1,1	0,0012
Planta entera	12,8 a	3,9 c	9,7 abc	6,8 bc	4,7 bc	8,8 abc	5,5 bc	10,1 ab	5,6 bc	1,3	0,0001
Extracto Etéreo, %											
Hojas	2,4 b	3,0 ab	3,4 ab	2,0 b	2,8 ab	4,2 a	3,1 ab	3,5 ab	3,8 ab	0,4	0,0088
Tallos	1,8	2,2	1,7	1,8	2,5	1,6	2,0	1,8	2,1	0,3	0,5115
Planta entera	2,1	2,5	2,1	2,0	2,6	2,2	2,5	2,4	2,6	0,3	0,6514
Energía bruta, cal.kg MS ⁻¹											
Hojas	4253,0 ab	4210,0 b	4367,0 ab	4308,0 ab	4359,0 ab	4363,8 ab	4229,0 b	4385,0 ab	4421,0 a	39,0	0,0022
Tallos	3939,0 b	4129,0 ab	4188,0 a	4006,0 ab	4158,7 a	4160,0 a	4030,0 ab	4140,0 ab	4136,0 ab	46,2	0,0039
Planta entera	4067,7 c	4155,0 abc	4231,2 a	4119,7 bc	4213,4 ab	4212,8 ab	4101,1 c	4214,8 ab	4221,7 ab	36,0	0,0108

abcde Letra diferente en una misma fila marca la diferencia entre promedios.

Se encontraron diferencias significativas ($p < 0,03$) para todas las variables estudiadas y para la interacción dosis de fertilización y edad de cosecha ($p < 0,0001$).

La concentración de proteína cruda en la planta entera osciló entre 10,4 y 25,6%, valores que coinciden con los reportados por Verdecia et al. (2021) quienes reportaron que *Tithonia diversifolia* tiene altos valores proteicos (22,6%). En otro estudio Gallego et al. (2017) encontraron concentraciones de 14,1% de proteína para la planta entera, a una edad de 56 días. Guatusmal-Gelpud et al. (2020) reportaron concentraciones de proteína cruda entre 21,31 y 26,96%, para plantas cosechadas entre los 60 y 80 días, mientras que Botero-Londoño et al. (2019) encontraron

valores entre 27,31 y 30,25%. Cerdas-Ramírez (2018) reportó concentraciones muy bajas (entre 10,16 y 12,91%), incluso al utilizar dosis de 400 kg de nitrógeno por hectárea por año. Estos valores demuestran que esta planta podría utilizarse como alimento diario para animales. La concentración más baja de este nutriente se obtuvo a mayor edad de cosecha. Es importante destacar que la concentración de proteína cruda encontradas en la hoja (26,1 a 35,2%) superan de manera importante la fracción de proteína cruda que contiene un alimento balanceado para vacas lecheras (16 a 18%).

La cantidad de proteína cruda producida como planta entera varió de 964,3 a 1846,1 kg por hectárea por corte y la mayor producción fue para el tratamiento con 300 kg de nitrógeno y una edad de cosecha de 75 días. Estos rendimientos son superiores a los reportados por Cerdas-Ramírez (2018) quien reportó rendimientos entre 355 y 810 kg por hectárea por corte utilizando dosis de nitrógeno entre 100 y 400 kg por hectárea por año, con una densidad de siembre de 13333 plantas por hectárea y cosechado a los 49 días de rebrote.

La concentración de cenizas en la planta entera varió de 9,8 a 17,4%. En una revisión realizada por Londoño et al. (2019) la concentración de lignina varió de 12,99 a 16,19%, por su parte, Botero-Londoño et al. (2019) reportan concentraciones de 14,05 a 15,84%.

La concentración de FDN y FDA en la planta entera osciló entre 47,0 a 57,9% y 34,2 a 51,2%, respectivamente. En un estudio realizado en Cuba, en el que el botón de oro se cosechó a los 70 días de edad, se reportan concentraciones de 22,23% de PC; 45,7% de FDN; 29,8% FDA; 7,18% de lignina, 16,74% de celulosa y 16,48% de hemicelulosa (Olmo-González, 2022). Mientras que Cabanilla-Campos et al. (2021), al evaluar el efecto de la edad de corte (30 a 75 días) sobre la composición nutricional de *Tithonia diversifolia*, encontraron que la proteína cruda osciló entre 12 y 24 %, la FDN entre 41 y 47 % y la FDA entre 29 y 35%. En otro estudio en Ecuador, se trabajó cosechando *Tithonia diversifolia* a los 30, 45, 60 y 75 días y reportan concentraciones de MS entre 8,64 y 21,8%; PC entre 12,37 y 24,68%; FDN de 41,56 a 47,10% y FDA entre 29,69 a 35,80% (Meza-Bone et al., 2021). Por su parte, Gallego et al. (2017) reportaron que la planta entera posee una concentración de 53,81% de FDN a una edad de 56 días, mientras que Londoño et al. (2019) reportan rangos entre 44,3 y 64,75 para FDN y 29,17 y 48,18 para FDA.

La lignina es un polímero fenólico cuya composición es muy diversa debido a los diferentes monómeros y enlaces que la componen, resultado de las distintas enzimas que participan en su biosíntesis (Barros et al., 2015) y durante la polimerización en la pared celular (Ros Barceló et al., 2004). Uno de los mayores inconvenientes que presenta el botón de oro es su alta concentración de lignina. En este ensayo, la concentración de este componente en la planta entera varió de 12,7 a 19,4%. En una revisión realizada por Londoño et al. (2019) la concentración de lignina varió de 7,9

a 22,81%; sin embargo, Guatusmal-Gelpud et al. (2020) reportaron concentraciones de lignina entre 2,76 y 3,06%. Se debe tener en cuenta que la lignina es el compuesto que tiene la mayor correlación negativa con la digestibilidad, la disponibilidad de los carbohidratos y proteína, y además reduce el consumo voluntario (Church et al., 2007; Sampaio et al., 2010).

La concentración de celulosa en la planta entera varió de 21,5 a 33,8% y la concentración de hemicelulosa en la planta entera osciló entre 3,9 y 12,8%. Este último valor fue superior al reportado por Olmo-González et al. (2022) quienes reportaron una concentración de 16,48% para la harina de botón de oro cosechado a los 70 días y al reportado por Guatusmal-Gelpud et al. (2020) que osciló entre 15,38 y 20,40%.

El incremento en los componentes de la pared celular que normalmente se presenta con el aumento de la edad de cosecha de las plantas forrajeras, está relacionado con los cambios fisiológicos y anatómicos que ocurren al envejecer la planta, lo que provoca la disminución de la proporción del contenido celular; se reduce el lumen celular con sus componentes solubles y se incrementa los componentes fibrosos (Rodríguez, 2017). Así mismo, el comportamiento de la FDN y FDA en las plantas está relacionado con el aumento de las partes menos digeribles, lo que es propio de su ciclo biológico y muchas veces está asociado con la reducción en el número de hojas jóvenes (Milera et al., 2010).

La concentración de extracto etéreo en la planta entera varió de 2,0 a 2,6%. Wambui et al. (2006) reportaron una concentración de 3,5% para este nutriente, mientras que Botero-Londoño et al. (2019) encontraron concentraciones entre 2,97 y 3,59%. La concentración de energía bruta en la planta entera varió de 4067,7 a 4231,2 cal/kg MS, valores muy similares a los reportados por Botero-Londoño et al. (2019) que variaron de 4163 a 4570 cal/kg MS.

La variabilidad de los contenidos de nutrientes descritos en los estudios mencionados con respecto a los obtenidos en el presente estudio, se debe básicamente a la parte de la planta analizada (hojas, tallos o planta entera), al estado fenológico, a las condiciones agroclimáticas, la altitud y la fertilidad del suelo, entre otros factores (Londoño et al., 2019; Guatusmal-Gelpud et al., 2020).

4 CONCLUSIONES

Al evaluar diferentes dosis de fertilización nitrogenada y edades de cosecha en el botón de oro, se encontraron diferencias significativas para la producción de biomasa verde, biomasa seca, relación hoja:tallo, altura de la planta y concentración de nutrientes.

El forraje de *Tithonia diversifolia* presentó adecuados rendimientos de producción y composición química con respecto a las dosis de fertilización nitrogenada y edades de corte durante la época lluviosa, lo que se sugiere que podría considerarse como una especie forrajera promisoría

de interés para su utilización en alimentación animal; sin embargo, se recomienda realizar investigaciones donde se evalúe la respuesta animal y el porcentaje de inclusión adecuado para ser utilizado en raciones tanto de especies de rumiantes como de monogástricos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo formó parte del proyecto de investigación 737-B5-188 inscrito en la Vicerrectoría de Investigación y del proyecto de acción social ED-2746 inscrito en la Vicerrectoría de Acción Social. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. mgmora@inta.go.cr. Orcid 0000-0002-5478-4352. jorge.elizondosalazar@ucr.ac.cr. Orcid 0000-0003-2603-9635.

REFERENCIAS

- Afolayan, F. I. D., Adegbolagun, O. M., Irungu, B., Kangethe, L., Orwa, J., & Anumudu, C. (2016). Antimalarial actions of *Lawsonia inermis*, *Tithonia diversifolia* and *Chromolaena odorata* in combination. *J. Ethnopharmacol*, 191, 188-94. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.06.045>
- ANKOM Technology. (2010). Operator's manual "Daisy" incubator. ANKOM Technology.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (2007). Official methods of analysis (18th Ed). Association of Official Analytical Chemists.
- Arteaga, D. V., Cedeño, G., Cedeño, G., Cargua, C. J., & Garay L. (2019). Eficiencia agronómica de nitrógeno y producción de *Cynodon plectostachyus* (K. Schum.) Pilg. en función de dos frecuencias de corte. *Chilean Journal of Agricultural and Animal Sciences*, 35(3), 251–260. <https://doi.org/10.4067/S071938902019005000405>.
- Aswini, B., Anita, B., Shanthi, A., & Jeya Sundara Sharmila, D. (2022). Nematicidal potential of Mexican sunflower, (*Tithonia diversifolia*) against the root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*. *The Pharma Innovation Journal*, SP-11(8), 963-967.
- Barros, J., Serk, H., Granlund, I., & Pesquet, E. (2015). The cell biology of lignification in higher plants. *Annals of Botany*, 115(7), 1053-1074. <https://doi: 10.1093/aob/mcv046>
- 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>
- Cabanilla-Campos, M. G., Meza-Bone, C. J., Avellaneda-Cevallos, J. H., Meza-Castro, M. T., Vivas-Arturo, W., & Meza-Bone, G. A. (2021). Desempeño agronómico y valor nutricional en *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A Gray bajo un sistema de corte. *Revista Ciencia y Tecnología*, 14(1), 71–78. <https://doi.org/10.18779/cyt.v14i1.450>
- Cadena-Villegas, S., Martínez-Maldonado, H. G., Sosa-Montes, E., Mendoza-Pedroza, S. I., Salinas-Rios, T., Flores-Santiago, E. J., & Alejos de la Fuente, J. I. (2020). Use of *Tithonia diversifolia* (hemsl.) A, Gray in the diet of growing lambs. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec*. 72(5), 1929-1935. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4162-11923>
- Cerdas Ramírez, R. (2018). Extracción de nutrientes y productividad del botón de oro (*Tithonia diversifolia*) con varias dosis de fertilización nitrogenada. *InterSedes*, 19(39). <https://doi.org/10.15517/isucr.v19i39.34076>
- Church, D. C., Pond, W. G., & Pond, K. R. (2007). Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. 2da ed. D.F., México: Limusa.
- dos Santos Silva, A. M., Santos, M. V., da Silva, L. D., dos Santos, J. B., Alves Ferreira, E., & Tuffi Santos, L. D. (2021). Effects of irrigation and nitrogen fertilization rates on yield, agronomic efficiency and morphophysiology in *Tithonia diversifolia*. *Agricultural Water Management*, 248, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106782>
- Eifediyi, E. K., Ahamefule, H. E., Ogedegbe, F. O., Agbede, T. M., Kareem, I., & Ajayi, A. D. (2023). Influence of *Tithonia diversifolia* and cattle manures on the growth and yield of sesame (*Sesamum indicum* L.). *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 12(3). <https://doi.org/10.30486/ijrowa.2022.1945769.1377>

Elizondo-Salazar, J.A. (2021). Calidad nutricional y consumo por cabras de forraje de botón de oro (*Tithonia diversifolia*). *Agronomía Costarricense*, 45(2), 135-142. https://www.mag.go.cr/rev_agr/v45n02_135.pdf

Frei, B., Baltisberger, M., Sticher, O., & Heinrich, M. (1998). Medical ethnobotany of the Zapotecs of the isthmus-sierra (Oaxaca, Mexico): documentation and assessment of indigenous uses. *J. Ethnopharmacol.* 62(2), 149-65. [https://doi.org/10.1016/s0378-8741\(98\)00051-8](https://doi.org/10.1016/s0378-8741(98)00051-8)

Fuente-Martínez, B., Carranco-Jáuregui, M., Barrita-Ramírez, V., Ávila-González, E., & Sanginés-García, L. (2019). Effect of *Tithonia diversifolia* meal on productive variables in laying hens. *Abanico Veterinario*, 9, 1-12. <http://doi.org/10.21929/abavet2019.911>

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. doi: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>

Gutiérrez, V. E., Ávila, R. N., Madrigal, S. X., López, H. N., Villalba, S. C. A., Juárez, C. A. & Ayala, B. A. J. (2018). Árboles forrajeros de la selva baja caducifolia en el estado de Michoacán: Avances y perspectivas. *Memorias de la Asociación Mexicana para la Producción Animal y Seguridad Alimentaria A.C. (AMPA)*. PDF. Avances de la Investigación Sobre Producción Animal y Seguridad Alimentaria en México. Primera edición: 2018-07-13. ISBN: 978-607-542-022-6.

Heinrich, M. (2000). Ethnobotany and its role in drug development. *Phytother Res.* 4(7), 479-88. [https://doi.org/10.1002/1099-1573\(200011\)14:7<479::aid-ptr958>3.0.co;2-2](https://doi.org/10.1002/1099-1573(200011)14:7<479::aid-ptr958>3.0.co;2-2)

Heinrich, M., Robles, M., West, J. E., de Montellano, O. B. R., Rodriguez, E. (1998). Ethnopharmacology of Mexican Asteraceae (Compositae). *Annu. Rev. Pharmacol. Toxicol.* 38,539-65. <https://doi.org/10.1146/annurev.pharmtox.38.1.539>

Holdridge, L. R. (2000), *Ecología basada en zonas de vida* (Quinta edición). IICA.

IMN (Instituto Meteorológico Nacional). 2017. Información meteorológica de la estación meteorológica ubicada en Hacienda Taboga, Cañas, Guanacaste.

Játem-Lásson, A., Mario, S. R., & Giuseppe, A. (1998). Herbal traditional medicine of Venezuelan Andes: an ethnopharmacological study. *Phytother. Res.* 12, 53-9. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1573\(1998\)12:1+<S53::AID-PTR250>3.0.CO;2-E](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1573(1998)12:1+<S53::AID-PTR250>3.0.CO;2-E)

Jiménez-Castro, J. P. (2018). Efecto de la época y los días de rebrote sobre la producción y la calidad nutritiva de pastos en Costa Rica [Tesis presentada en opción al título de Máster en Producción Animal Sostenible], Universidad Nacional de Costa Rica. <https://hdl.handle.net/11056/20919>

Kato-Noguchi, H. (2020). Involvement of allelopathy in the invasive potential of *Tithonia diversifolia*. *Plants*, 9(6), 766. <https://doi.org/10.3390/plants9060766>

Londoño, C. J., Mahecha, L. L., & Angulo, A. J. (2019). Desempeño agronómico y valor nutritivo de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A Gray para la alimentación de bovinos. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 11(1), 1-13. <https://doi.org/10.24188/recia.v0.n0.2019.693>

- Meza-Bone, G., Meza-Bone, C., Avellaneda-Cevallo, J., Godoy-Montiel, L., Barros-Rodríguez, M., & Jines-Fernández, F. (2021). Degradación ruminal in vitro en *Tithonia diversifolia*. *Agronomía Mesoamericana*, 33. 43206. <https://doi.org/10.15517/am.v33i1.43206>
- Milera, M.; Sánchez, T. & Martín, G. (2010). *Morus* sp. para la alimentación de bovinos en desarrollo. *Pastos y Forrajes*, 33(1), 1-8.
- Miura, T., Nosaka, K., Ishii, H., & Ishida, T. (2005). Antidiabetic effect of Nitobegiku, the herb *Tithonia diversifolia*, in KK-Ay diabetic mice. *Biol. Pharm. Bull.* 28, 2152-2154. <https://doi.org/10.1248/bpb.28.2152>
- Njoroge, G. N., & Bussmann, R. W. (2006). Herbal usage and informant consensus in Ethnoveterinary management of cattle diseases among the Kikuyus (Central Kenya). *J. Ethnopharmacol.* 108, 332-9. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2006.05.031>
- Olmo-González, C., Verdecia-Acosta, D. M., Hernández-Montiel, L. G., Ojeda-Rodríguez, A., Ramírez-de la Ribera, J. L., & Martínez-Aguilar, Y. (2022). Chemical composition of the foliage meal of *Tithonia diversifolia*. *Enfoque UTE*, 13(4). <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.856>
- Omokhua, A. G., Abdalla, M. A., Van Staden, J., & McGaw, L. J. (2018). A comprehensive study of the potential phytomedicinal use and toxicity of invasive *Tithonia* species in South Africa. *BMC Complement. Altern. Med.* 18, 272. <https://doi.org/10.1186/s12906-018-2336-0>
- Pazla, R., & Sriagtula, A. (2021). Intake, nutrient digestibility and production performance of pesisir cattle fed *Tithonia diversifolia* and *Calliandra calothyrsus*-based rations with different protein and energy ratios. *Adv. Anim. Vet. Sci.* 9(10), 1608-1615. <http://dx.doi.org/10.17582/journal.aavs/2021/9.10.1608.1615>
- Polo, E., & Medina, L. (2021). Efecto de la frecuencia de corte sobre el rendimiento y la calidad de forraje del botón de oro (*Tithonia diversifolia*). *Revista Semilla del Este*, 2(1), 59-69.
- Reis, M. M., Santos, T., Pegoraro, R. F., Santos, M. V., Colen, F., Rocha, L. M., Ferreira, G. A. P., Montes, W. G., Moura Junior, R. R. Cruz, L. R., & Oliveira, F. G. (2018), Productive and nutritional aspects of *Tithonia diversifolia* fertilized with biofertilizer and irrigated, *J. Agric. Sci.* 10. 367. <https://doi.org/10.5539/jas.v10n11p367>
- Ribeiro, R. S., Terry, S. A., Sacramento, J. P., Silveira, S. R., Bento, C. B., da Silva, E. F., Cuquetto, H., Sundfeld, M., Ribeiro, L., Ribeiro, T., Martins, R., & Vieira, A. (2016). *Tithonia diversifolia* as a supplementary feed for dairy cows. *PLoS ONE*, 11(12): e0165751. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165751>
- Rodríguez. I. (2017). Potencialidades de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray en la alimentación animal. *Livestock Research for Rural Development*, 29(4), 1-25.
- Romero, A.; & Leyva. A. (2014). La biomasa de los cultivos en el agroecosistema. Sus beneficios agroecológicos. *Cultivos Tropicales*, 35(1), 11-20.
- Ros Barceló, A., Gómez Ros, L. V., Gabaldón, C., López-Serrano, M., Pomar, F., Carrión, J. S., & Pedreño, M. A. (2004). Basic peroxidases: The gateway for lignin evolution? *Phytochemistry Reviews*, 3(1-2), 61-78. <https://doi: 10.1023/B:PHYT.0000047803.49815.1a>
- Ruiz, T. E., Febles, G., Galindo, J., Savón, L., Chongo, B., Torres, V., Cino, D., Alonso, J., Martínez, Y., Gutiérrez, D., Crespo, G., Mora, L., Scull, I., La, O. O., González, J., Lok, S., González, N., & Zamora, A. (2014). *Tithonia diversifolia*, its possibilities in cattle rearing systems, *Cuban J. Agric. Sci.* 48(1), 79-82.

Sampaio, C. B., Detmann, E., Paulino, M. F., Valadares Filho, S. C., de Souza, M. A., Lazzarini, I., Paulino, P. V., & de Queiroz, A. C. (2010). Intake and digestibility in cattle fed low-quality tropical forage and supplemented with nitrogenous compounds. *Tropical animal health and production*, 42(7), 1471-1479. <https://doi.org/10.1007/s11250-010-9581-7>

Santos-Gally, R., Muñoz, M., & Franco, G. (2020). Fruit heteromorphism and germination success in the perennial shrub *Tithonia diversifolia* (Asteraceae). *Flora*. 271. Article 151686. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151686>

Senarathne, S. H. S., Atapattu, A. J., Raveendra, T., Sylvanus, M., & Dassanayake, K. B. (2019). Biomass allocation and growth performance of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray in coconut plantations in Sri Lanka. *Agroforest. Syst.* 93, 1865-1875. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0290-y>

Torres-Moya, E., Ariza-Suárez, D., Baena-Aristizabal, C. D., Cortés-Gómez, S., Becerra-Mutis, L., & Riaño-Hernández, C. A. (2016). Efecto de la fertilización en el crecimiento y desarrollo del cultivo de la avena (*Avena sativa*). *Pastos y Forrajes*, 39(2), 102–110.

Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74, 3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)

Verdecia, D. M., Herrera-Herrera, R. C., Torres, E., Sánchez, A. R., Hernández-Montiel, L. G., Herrera, R. S., Ramírez, J. L., Bodas, R., Giráldez, F. J., Guillaume, J., Uvidia, H., & López, S. (2021). Primary and secondary metabolites of six species of trees, shrubs and herbaceous legumes. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 55(1), 77-93. <http://scielo.sld.cu/pdf/cjas/v55n1/2079-3480-cjas-55-01-77.pdf>

Wambui, C., Abdulrazak, A., & Noordin, Q. (2006). Performance of growing goats fed urea sprayed maize stover and supplemented with graded levels of *Tithonia diversifolia*. *Asian-Aust J. Anim. Sci.* 19, 992-996.

Witt, A. B., Shackleton, R. T., Beale, T., Nunda, W., & van Wilgen, B. (2019). Distribution of invasive alien *Tithonia* (Asteraceae) species in eastern and southern Africa and the socio-ecological impacts of *T. diversifolia* in Zambia. *Bothalia Afr. Biodivers. Conserv.* 49(1), 1-11. <https://dx.doi.org/10.4102/abc.v49i1.2356>