



**DEGRADABILIDAD *in situ* DE LA MATERIA SECA DE *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray EN TRES ÉPOCAS DEL AÑO †**

**[DEGRADABILITY *in situ* OF THE DRY MATTER OF *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray IN THREE SEASONS OF THE YEAR]**

**Vicky Tatiana Vargas-Velázquez<sup>1</sup>, Silvia López-Ortiz<sup>1</sup>, Epigmenio Castillo-Gallegos<sup>2</sup>, Ponciano Pérez-Hernández<sup>1</sup>, Cristino Cruz-Lazo<sup>2</sup>, Jesús Jarillo-Rodríguez<sup>2\*</sup> and Carlos Lucas-Leyva<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz; Km 88.5 Carretera Federal Xalapa-Veracruz, vía Paso de Ovejas, Predio Tepetates, Municipio Manlio Fabio Altamirano; C.P. 94251. Veracruz, México. Phone 52-229-2010770, ext. 64333; Fax 52-229-9207259; vargas.vicky@colpos.mx; silvialopez@colpos.mx; pperez@colpos.mx*

<sup>2</sup>*Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México; Km 5.5 Carretera Federal Martínez de la Torre-Tlapacoyan, Municipio H. Tlapacoyan, C.P. 93600. Veracruz, México. Phone: 52-232-3243943, ext. 128; Fax: 52-232-3243941; epigmeniocastillo@comunidad.unam.mx; cristino.cruz@unam.mx; jjarillo@fmvz.unam.mx\*; carlos\_lucas21@hotmail.com*

\*Corresponding author

### SUMMARY

**Background.** Forage trees and shrubs are an alternative that improve dry matter intake and digestibility in ruminants, due to their high ruminal degradation rate, higher nitrogen contribution for rumen microorganisms, low percentage of neutral and acid detergent fiber. **Objective.** To estimate the availability, nutritional quality and degradability for *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray were estimated at different cutting age, in three seasons of the year. **Methodology.** Forage production and nutritional quality were measured every 14 d, from cutting to 84 d of age. Leaf and stem samples were taken to determine crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), and the "*in situ*" degradability of dry leaf matter (DM). **Results.** Total DM production was similar in autumn and winter, and both were greater than for spring. In autumn, at 56 d and in winter at 70 d after cutting, DM production was 9 t ha<sup>-1</sup>, while in spring at 84 d it was close to 3 t ha<sup>-1</sup>. Crude protein content increased linearly with days after cutting. **Implications.** In autumn and winter, the highest percentages of NDF and ADF were observed. Plants at 42 d of regrowth had a lower percentage of ADF. **Conclusions.** The DM production and the nutritional quality of *T. diversifolia* differ according to the season of the year and the age of regrowth, at 42, 70 and 84 days of regrowth in autumn, winter and spring, respectively, under the agroecological conditions of the growing area. study, the best conditions for growth occur in Autumn. The DM degradability is similar between the ages of 42, 56 and 70 days of regrowth. However, harvesting plants at 42 days could sacrifice biomass yield at a very early age.

**Key words:** Forage biomass; humid tropics; forage resources.

### RESUMEN

**Antecedentes.** Los árboles y arbustos forrajeros son una alternativa que mejoran el consumo y la digestibilidad de la materia seca en los rumiantes, debido a su alta tasa de degradación ruminal, mayor contribución de nitrógeno para los microorganismos del rumen, y bajo porcentaje de fibra detergente neutro y ácida. **Objetivo.** Se estimó la disponibilidad, calidad nutritiva y degradabilidad de la materia seca de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray a diferentes edades de corte, en tres épocas del año para la alimentación animal. **Metodología.** Se midió la producción

† Submitted May 18, 2023 – Accepted December 14, 2023. <http://doi.org/10.56369/tsaes.4963>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = Vicky Tatiana Vargas-Velázquez: <http://orcid.org/0000-0002-1724-7363>, Silvia López-Ortiz: <http://orcid.org/0000-0002-5202-3365>, Epigmenio Castillo-Gallegos: <http://orcid.org/0000-0002-2850-9795>, Ponciano Pérez-Hernández: <http://orcid.org/0000-0001-7219-8624>, Cristino Cruz-Lazo: <http://orcid.org/0000-0003-3242-0125>, Jesús Jarillo-Rodríguez: <http://orcid.org/0000-0001-6010-5865>, Carlos Lucas-Leyva: <https://orcid.org/0009-0007-9285-9515>

y calidad nutritiva de forraje cada 14 d, desde el corte hasta 84 d de rebrote. Se tomaron muestras de hoja y tallo para determinar proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácida (FDA), y de hoja para degradabilidad “*In situ*” de la materia seca (MS). La disponibilidad de materia seca fue similar en otoño e invierno y ambas mayores que en primavera. **Resultados.** La disponibilidad de materia seca fue similar en otoño e invierno y ambas mayores que primavera; la disponibilidad alcanzó 9 t ha<sup>-1</sup> a los 56 d en otoño y los 70 d en invierno, después del corte, mientras que en primavera a los 84 d fue cercana a las 3 t ha<sup>-1</sup>. El contenido de PC aumentó en forma lineal con la edad de rebrote. **Implicaciones.** En otoño e invierno se tuvo el mayor porcentaje de FDN y FDA. Las plantas de 42 d de rebrote tuvieron menor porcentaje de FDA. **Conclusiones.** La producción de MS y la calidad nutritiva de *T. diversifolia* difieren según la época del año y la edad de rebrote, a los 42, 70 y 84 días de rebrote en otoño, invierno y primavera, respectivamente, bajo las condiciones agroecológicas del área de estudio, las mejores condiciones para el crecimiento, suceden en el otoño. La degradabilidad de la MS es similar entre las edades de 42, 56 y 70 días de rebrote. Sin embargo, la cosecha de plantas a los 42 días podría sacrificar el rendimiento de biomasa a una edad muy temprana **Palabras clave:** Biomasa forrajera; trópico húmedo; recursos forrajeros.

## INTRODUCCIÓN

La productividad animal bajo pastoreo es limitada principalmente por disponibilidad y calidad limitada de las gramíneas durante los periodos de estiaje (Villanueva-Partida *et al.*, 2019), la escasez de forraje en cantidad y calidad nutritiva limita el consumo de materia seca (MS) y nutrientes, y afecta el crecimiento y el desarrollo animal (González-Garduño *et al.*, 2013). Por lo tanto, bajo pastoreo pocas veces se cubren los requerimientos nutricionales de los animales y la mayoría de las veces se recurre a fuente alimenticias de costo económico elevado.

Los árboles y arbustos forrajeros son una alternativa adecuada para contrarrestar los efectos del estiaje, porque bajo un manejo adecuado, pueden producir follaje durante la época seca del año (Zamora *et al.*, 2001; Ortega-Vargas *et al.*, 2013; Azuara-Morales *et al.*, 2020) con una calidad nutritiva mayor que las gramíneas.

Las especies arbustivas y arbóreas mejoran el consumo y la digestibilidad de la materia seca en los rumiantes, debido a su tasa alta de degradación ruminal, mayor contribución de nitrógeno para los microorganismos del rumen, porcentaje bajo de fibra detergente neutro y fibra detergente ácida en su composición (Lara *et al.*, 2007; Martínez *et al.*, 2012), y contenido aceptable de taninos (Leyva-Galán *et al.*, 2014).

Existe un efecto positivo al utilizar especies arbóreas y arbustivas en la alimentación de los ovinos, por lo cual, ofertar su follaje y frutos a través de sistemas silvopastoriles es una estrategia integral para mejorar su productividad y rentabilidad (Milera, 2013).

*T. diversifolia* es una especie forrajera que ha cobrado gran importancia en la alimentación animal. Esta especie se adapta a diferentes suelos (ácidos y alcalinos), altitudes (desde 0 a 2700 m) y niveles de

precipitación pluvial (de 800 a 5000 mm anuales) (Gallego-Castro *et al.*, 2017; Mejía-Díaz *et al.*, 2017). Produce cantidades elevadas de follaje verde (30 a 82 ton ha<sup>-1</sup>) sin fertilización (Ríos y Salazar, 1995; Mahecha y Rosales, 2005), que pueden multiplicarse sustancialmente con fertilización (Botero-Londoño *et al.*, 2019). La producción de follaje se relaciona con la altura y frecuencia de corte (Partey, 2011), el método de establecimiento, densidad de plantación y la época del año (Verdecia *et al.*, 2011). Se ha demostrado que la mejor altura de corte es 50 cm; con cortes cada 2 meses se tiene una producción de 7.2 t MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Partey, 2011). La materia seca se incrementa con la edad de la planta debido al envejecimiento y al aumento de los componentes estructurales (Verdecia *et al.*, 2011). La cantidad de proteína cruda varía de 11.7 a 30.0 % (Verdecia *et al.*, 2011; Mejía-Díaz *et al.*, 2017), y disminuye con la edad, sin embargo, se reporta que a los 180 d de rebrote puede contener hasta 14 % de PC y de 75.2 a 78.5% de digestibilidad *in vitro* (Verdecia *et al.*, 2011).

El consumo voluntario y la digestibilidad de la materia seca del forraje incrementó con la inclusión de *T. diversifolia* (Ramírez-Rivera *et al.*, 2010). La degradabilidad ruminal oscila de 50 a 90 % (La O *et al.*, 2012); el contenido de FDA es de 24.1 a 48.9 % y la FDN de 14.8 a 53.8 % (Ramírez-Rivera *et al.*, 2010; Rivera *et al.*, 2018). El contenido de FDN en estado de prefloración (60 d) oscila entre 43.9 y 54.5 (Verdecia *et al.*, 2011). El contenido de FDA aumenta con la edad de la planta debido a que se incrementan los compuestos fibrosos y se reduce el lumen celular con sus compuestos solubles (Soto *et al.*, 2009; Verdecia *et al.*, 2011).

El contenido de metabolitos secundarios como fenoles y taninos son aceptables, por lo cual es una planta apta para ser usada en la alimentación de los animales (Mahecha y Rosales, 2005; Soto *et al.*, 2009). El contenido de taninos en cantidades moderadas en la *T. diversifolia* puede beneficiar a los rumiantes, porque

se aumenta la proteína de sobrepeso y mejora la utilización de la energía de los alimentos por parte del animal (Galindo *et al.*, 2011).

En resumen, *T. diversifolia* es una planta que por su valor nutricional (balance proteína-carbohidratos solubles), su capacidad de rebrote tras el corte o ramoneo (Mejía-Díaz *et al.*, 2017), su fácil establecimiento y rusticidad, puede utilizarse para alimentar el ganado (Medina *et al.*, 2009; Gallego *et al.*, 2014; Carranco-Jáuregui *et al.*, 2020), y sustituir el uso de alimentos concentrados (Ramírez-Rivera *et al.*, 2010). Por lo que, la edad y la época del año puede afectar la producción de biomasa, la calidad nutritiva y la degradabilidad de *T. diversifolia* varía por efecto de la edad de las plantas, y de forma distinta en las tres épocas del año. El objetivo fue determinar la disponibilidad, calidad nutritiva y degradabilidad *in situ* de la MS de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Grey a diferentes edades de la planta, en tres épocas del año para la alimentación animal en el trópico húmedo de México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación de la investigación y descripción del sitio experimental

El estudio se realizó en el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical (CEIEGT) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, de la Universidad Nacional Autónoma de México; ubicado en Tlapacoyan, Veracruz, a 20°02'

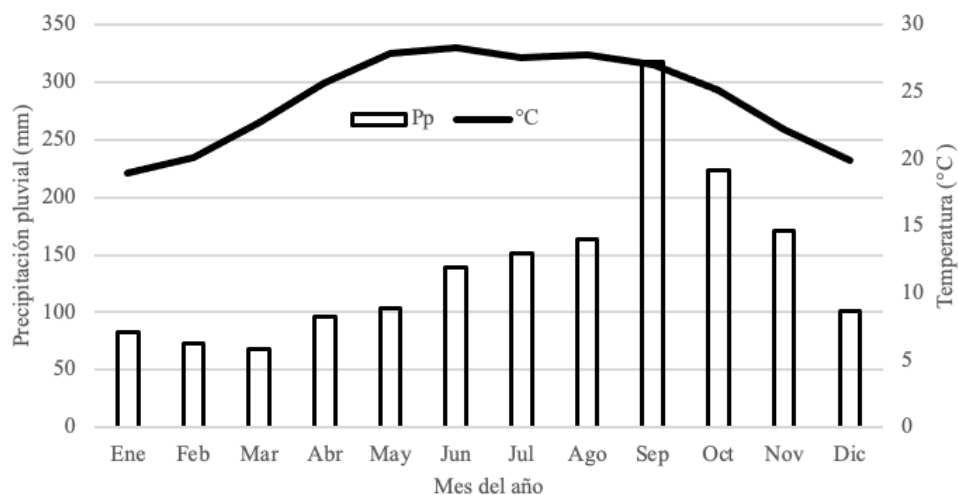
Latitud Norte y 97° 06' Longitud Oeste, a 151 msnm. El clima en la región es cálido húmedo Af(m)w''(e), con 23.5 °C de temperatura media anual y 1991 mm anuales de precipitación pluvial (García, 1988). En esta zona se distingue una época de lluvias de julio a octubre, una de nortes de noviembre a febrero (otoño e invierno) y una de sequía de marzo a junio (primavera). (Figura 1). El suelo es del tipo de los ultisoles, con baja fertilidad y encharcamientos temporales debido a la presencia de una capa subterránea semipermeable.

### Establecimiento de *Tithonia diversifolia* en campo

Se estableció una parcela de 158 x 55 m (8,690 m<sup>2</sup>) de *T. diversifolia* en julio de 2018. Se sembraron estacas de 20 a 30 cm de longitud, en un diseño de marco real de 60 x 60 cm de distancia, para una densidad de 24,138 plantas. El material vegetativo se obtuvo de macollas en parcelas ya establecidas en el CEIEGT con edad de 70 días. El experimento inició el 25 de septiembre de 2018.

### Muestreo

Se realizaron muestreos del follaje en otoño (9 de octubre al 21 de diciembre de 2018), invierno (6 de enero al 2 de abril del 2019) y primavera (28 de marzo al 20 de junio del 2019). En cada época, se realizó un corte de uniformización de las plantas a 50 cm de altura (25 de septiembre en otoño, 23 de diciembre en invierno y 14 de marzo en primavera).



**Figura 1.** Temperatura (°C) y precipitación pluvial (Pp) media mensual del sitio experimental durante el desarrollo del experimento.

Las muestras consistieron en cuatro macollas completas obtenidas en seis fechas de corte (14, 28, 42, 56, 70 y 84 d), previo corte de uniformización, para cada época de forma aleatoria (Vargas-Velázquez *et al.*, 2022). Los muestreos de follaje se realizaron cada 14 días hasta 84 días o hasta el momento de inicio de la floración (Mejía-Díaz *et al.*, 2017). En cada muestreo, las plantas se cortaron a 50 cm de altura, sobre la superficie del suelo. El follaje de cada planta se pesó y se separó en hojas y tallos, se secaron en una estufa de aire forzado a 60 °C durante 72 h.

### Análisis de laboratorio

La determinación de PC se realizó por el método de la AOAC (2005), mientras que FDN y FDA por el método de la bolsa de filtro Ankom y el equipo ANKOM200 (ANKOM, 2010).

Con la técnica de la bolsa de dacrón (Bar Diamond, Inc. Parma, Idaho, USA; Orskov and McDonald, 1979) se determinó la degradabilidad *in situ* de la materia seca de hoja de las tres épocas, a las 3, 6, 9, 12, 24, 48 y 72 h. Se colocaron 3.2 g de muestra en cada bolsa y se incubaron en el rumen de dos vacas bajo pastoreo de una mezcla de pastos (*Paspalum* spp., *Axonopus* spp. predominando *Brachiaria* spp.), las vacas se suplementaron con 2 kg d<sup>-1</sup> de un concentrado comercial con 14 % de PC desde la fase de adaptación (7 días) y hasta el final de la evaluación (3 días).

En total se usaron 174 (10 x 20 cm) bolsas, de las cuales 126 contenían las muestras, 42 se usaron como blanco (sin muestra) para generar el factor de corrección por ingreso de partículas o pérdida de peso de las bolsas y seis para el estándar con una muestra de hojas de kinggrass (*Pennisetum purpureum* Schum.), todas por triplicado (Castillo *et al.*, 2012).

### Análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar en el que la edad de rebrote se consideró como tratamiento, las macollas como unidades experimentales y la época como medición repetida en el tiempo. El análisis de varianza se realizó con un modelo mixto de mediciones repetidas cuyos efectos fijos fueron la edad de rebrote y la época, siendo la macolla anidado dentro de la edad de rebrote, el efecto aleatorio. Se empleó la matriz de covarianza no estructurada (UN) o (SAS 2013).

Para describir el perfil de degradación de las hojas los datos se ajustaron al modelo simple de Mitscherlich (Ørskov y McDonald, 1979; McDonald, 1981) que es:

$$y_t = A + B(1 - e^{-c(t-T)})$$

Donde: A es la fracción soluble que se degrada al instante; B es la parte degradable de la fracción insoluble; c es la tasa de degradación fraccionaria de B; T es el tiempo de retardo para iniciar la degradación de B; y y<sub>t</sub> es la MS degradada al tiempo t (g MS degradada/g MS incubados).

La degradación efectiva (E) se calculó con la ecuación:

$$E = A + B \left( \frac{ce^{-k_p * t}}{c + k_p} \right)$$

La cual supone que el tiempo de retardo de la tasa de pasaje para k<sub>p</sub>, es inexistente. En este caso k<sub>p</sub> = 0.033 h<sup>-1</sup>. La fracción A se midió sometiendo la muestra en la bolsa a enjuague con agua destilada a 38 °C por media hora, dejando escurrir por la noche antes del secado a 65 °C por 72 horas (Ørskov y McDonald, 1979). En ambos casos, las unidades son porcentajes: (g perdidos/g incubados) x 100. Asimismo, se realizó una corrección por pérdida de partículas según lo descrito por Dhanoa *et al.* (1999).

El ajuste de los datos al modelo se realizó por cuadrados mínimos (Motulsky, 2019) bajo el supuesto de que los errores están distribuidos normalmente, y por tanto, los estimadores de los parámetros son similares al análisis por máxima verosimilitud (Silvert, 1979), para lo cual se usó el software GraphPad Prism v. 7.05, que emplea la interacción de Marquardt-Lavenberg (Marquardt, 1963).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

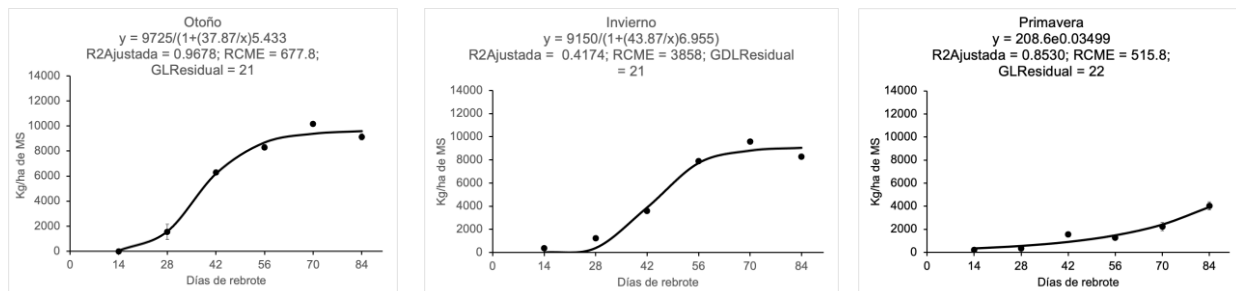
### Disponibilidad de materia seca

La prueba de efectos fijos tipo 3 reveló que los tres efectos del modelo fueron altamente significativos sobre los porcentajes de hoja y tallo (Tabla 1).

**Tabla 1. Significancia de los efectos fijos tipo III sobre los componentes de la planta, hoja y talloje.**

Efecto	Grados de libertad		Componente morfológico	
	Num. <sup>1</sup>	Den. <sup>1</sup>	Hoja	Tallo
			Pr > F <sup>1</sup>	
Edad	2	24	<0.0001	<0.0001
Cortes <sup>2</sup>	5	24	<0.0001	<0.0001
Edad*Corte	10	24	<0.0001	<0.0001

<sup>1</sup> Num. y Den., son numerador y denominador, respectivamente; Pr > F, es la probabilidad de encontrar un valor de F mayor al calculado por el análisis; se refiere a seis cortes realizados a 14, 28, 42, 56, 70 y 84 días de rebrote.



**Figura 2.** Relación entre días de rebrote y rendimiento de MS de *T. diversifolia* durante tres épocas en el trópico húmedo. Los círculos negros son las medias de cuadrados mínimos (LSMEANS)

Al igual que con edad y época, la interacción fue altamente significativa (Tabla 1), lo que indicó que el efecto de la edad sobre los componentes de la planta dependen de la época del año (Vargas-Velázquez *et al.*, 2022). Paniagua-Hernández *et al.*, (2020) reportaron la misma influencia de la edad de rebrote y de la época sobre la producción de biomasa y la composición bromatológica del forraje de *T. diversifolia*.

El rendimiento de MS (9 t ha<sup>-1</sup> de MS para otoño e invierno y de 3 t ha<sup>-1</sup> de MS en primavera; Figura 2) depende de la época. Al respecto, se ha reportado que con valores de precipitación pluvial menores a 50 mm/mes el rendimiento de MS de *T. diversifolia*, se puede reducir hasta en 90 % (Navas-Panadero y Montaña, 2019), porque es una planta que responde ampliamente a la humedad (García *et al.*, 2008; Castillo-Mestre *et al.*, 2016).

La respuesta en producción de MS en otoño, invierno y primavera obedece a la disponibilidad de humedad proveniente de la precipitación pluvial registrada en cada época, mientras que en otoño e invierno se observa una precipitación de 875.5 y 324.2 mm, con 22.4 y 20.6 °C de temperatura, respectivamente. En primavera la precipitación fue de 338.0 mm y una temperatura de 27.3 °C, la evaporación de la humedad de suelos en otoño, invierno y primavera fue 414.2, 272.6 y 401.1 mm, respectivamente; la baja precipitación observada en invierno y primavera, el incremento de la temperatura y la evaporación podría explicar la menor producción de materia seca en primavera.

La contribución del componente hoja a la MS total fue a 14 días de edad con 92, 84 y 100 % para otoño, invierno y primavera, respectivamente, pero disminuyó a 84 d a 33, 29 y 36 % para las mismas épocas, respectivamente. En el caso de tallo a 14 d se

observó nula presencia a la altura de corte para otoño y primavera y solo 15 % para invierno, mientras que a 84 d la contribución de tallo a la biomasa total fue de 39, 55 y 43 % para otoño, invierno y primavera, respectivamente.

La cantidad de MS en el presente estudio (9 t ha<sup>-1</sup> de MS en otoño y lo mismo en invierno a 56 días de rebrote en ambas épocas con 24 mil 138 plantas ha<sup>-1</sup> y corte a 50 cm) es similar a las 9.1 t ha<sup>-1</sup> con 20 mil plantas ha<sup>-1</sup> y corte a 40 cm a 60 d (Holguín *et al.*, 2015), aun cuando, en el ensayo que reporta la densidad de plantas fue mayor 41 mil 138 plantas ha<sup>-1</sup>, también la altura fue mayor (50 vs 40 cm) lo cual pudo compensar la cantidad de materia seca, asimismo, la precipitación pluvial y la edad en ambos ensayos fue similar. No obstante Alonso *et al.* (2012), reportó a una densidad de 0.8 x 2.0 m y a 90 d 3.67 t ha<sup>-1</sup> de MS lo que significó 0.29 kg<sup>-1</sup> de MS/planta, mientras que en el presente ensayo con 24 mil 138 plantas ha<sup>-1</sup>, se obtuvo 0.37 kg<sup>-1</sup> de MS/planta, en el presente ensayo la edad fue menor pero la densidad de plantas/ha fue mayor y se manifestó en la producción total.

En Colombia, se reportan de 5.4 a 12.6 t de forraje verde ha<sup>-1</sup> con 18.1 % de MS, por corte, donde las variaciones dependen de la densidad de siembra, tipos de suelos y edad de las plantas (Ríos y Salazar, 1995), sin embargo, los valores de producción en el presente ensayo se encuentran en este rango.

Por otro lado, Castillo-Mestre *et al.* (2016) reportó una producción anual de 13.52 t MS ha<sup>-1</sup>, con diferencias significativas entre el periodo lluvioso (9.1 t MS ha<sup>-1</sup> anual) y el periodo menos lluvioso (4.42 t MS ha<sup>-1</sup> anual). El rendimiento de 3 t MS ha<sup>-1</sup> a 84 d en primavera, es menor a las 3.5 t MS ha<sup>-1</sup> a los 60 d de edad reportada por Ruíz *et al.* (2012) en época seca, y a las 4.42 t MS ha<sup>-1</sup> a 85-95 d en el periodo menos lluvioso, reportado por Castillo-Mestre *et al.* (2016).

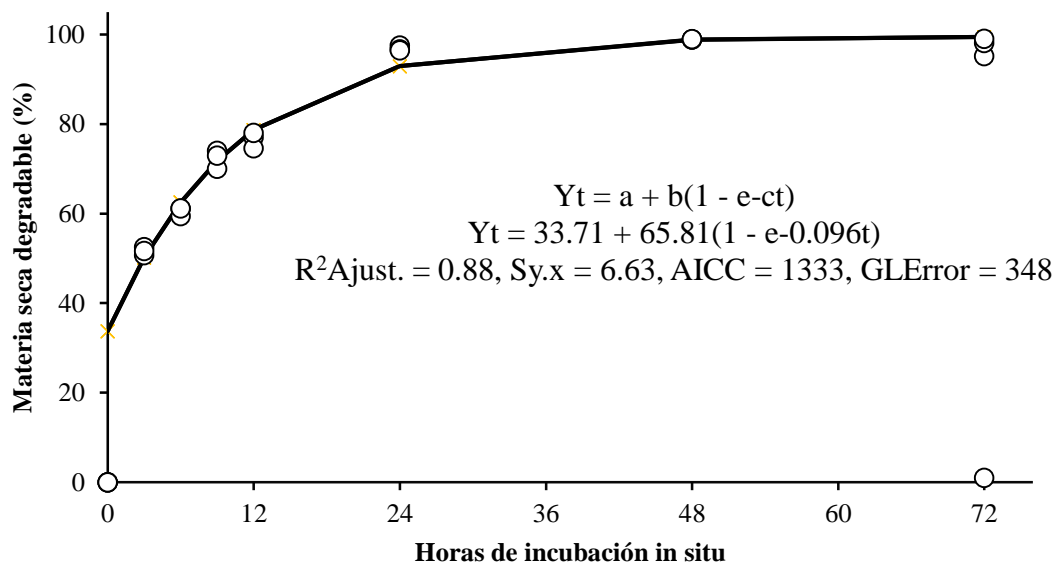
Como se observa en Figura 3, 42 días podría ser el momento más adecuado para cosechar el forraje durante el otoño, 56 para invierno y 84 para primavera. Sin embargo, algunos autores sugieren el corte de 50 días con una producción de biomasa verde de 3.5 t MS ha<sup>-1</sup> (Alonso *et al.*, 2015; Castillo-Mestre *et al.*, 2016; Mejía-Díaz *et al.*, 2017). No obstante, otros autores recomiendan a los 60 días con 7.2 t MS ha<sup>-1</sup> año (Lezcano *et al.*, 2012; Ruíz *et al.*, 2012) o 70 días (De Souza, 2007), en cambio, en ramoneo la recuperación de la planta requiere períodos más prolongados, 60 a 90 días según el clima (Alonso *et al.*, 2015; Holguín *et al.*, 2015).

En la Figura 3 se puede observar también que existen diferencias en la edad de corte para mejor rendimiento, esto se relaciona con condiciones climáticas de cada región por lo que se podría sugerir que el corte se realice entre prefloración o inicio de floración (De Souza, 2007; Botero-Londoño *et al.*, 2019), cuando las plantas empiezan a mover sus reservas de nutrientes y destinarlas a la reproducción, disminuyendo la calidad

nutritiva del follaje (Leyva-Galán *et al.*, 2014; Botero-Londoño *et al.*, 2019).

### Composición química de materia seca de hoja

El contenido de PC aumentó en forma lineal a medida que aumentó la edad de corte (Tabla 2), con valores de 18.3±2.9 a 21.3±1.8 % para la edad de 42 y 84 d, respectivamente. La concentración de FDN, FDA y Lignina aumentaron de 42 a 56 días y se mantuvieron de 70 a 84 días (Tabla 2). El aumento lineal de PC a medida que aumento la edad de corte, es similar a lo reportado en un estudio de 29 materiales de *T. diversifolia*, realizado en Cuba (Ruíz *et al.*, 2016). Esto podría estar relacionado con el desarrollo de hojas nuevas en la planta conforme avanza la edad. Gallego-Castro *et al.* (2017) reportan valores similares de PC y también discuten esta tendencia. Asimismo, Ruiz *et al.* (2021), observó que el peso de hojas/planta tiene 3.1 gMS en la semana cuatro y en la semana 12 se incrementó a 9.1 gMS y disminuye en la semana 18 a 6.9.



**Figura 3.** Perfil de la degradación *in situ* de la materia seca de *Tithonia diversifolia* cosechada a 42 (○), 56 (□) y 84 (△) días de rebrote durante el otoño en el trópico húmedo del estado de Veracruz. La gráfica sólo presenta una curva, así como la ecuación que la generó, porque la diferencia entre curvas individuales no fue significativa ( $P = 0.228$ ).

**Tabla 2.** Contenido (%) de proteína cruda, fibra detergente neutro, fibra detergente ácida y lignina de *T. diversifolia* a cuatro edades de corte.

Edad (d)	PC	FDN	FDA	Lignina
42	18.3 ± 2.9	42.9 ± 8.1	29.6 ± 7.9	18.3 ± 6.3
56	19.6 ± 2.5	45.0 ± 10.1	31.5 ± 9.8	20.0 ± 6.6
70	20.1 ± 2.9	43.7 ± 5.1	29.1 ± 7.1	18.1 ± 5.4
84	21.3 ± 1.8	43.5 ± 3.2	28.5 ± 4.1	17.2 ± 3.6

PC es Proteína Cruda, FDN Fibra detergente neutro y FDA es Fibra detergente ácida.

El mayor porcentaje de FDA y lignina fue registrado en las épocas de otoño ( $35.3 \pm 2.2$  %) e invierno ( $32.9 \pm 6.1$  %) y el menor durante la primavera ( $22.2 \pm 4.5$  %; Tabla3); con respecto a la edad, el promedio fue  $29.67 \pm 1.29$ .

En general las concentraciones de este componente están dentro del rango de proteína observado en otros estudios a edades de rebrote similares. Gallego-Castro *et al.* (2017) reportaron valores menores (14.1 % PC) a 56 días de rebrote, pero en planta completa mientras que Lezcano *et al.* (2012), reportan más proteína (29.79 y 17.27 %) (a 30 y 60 días de edad, respectivamente, pero con una tendencia inversa, porque las concentraciones disminuyeron con la edad.

**Tabla 3. Contenido (%) de proteína cruda, fibra detergente neutro, fibra detergente ácida y lignina de *T. diversifolia* en diferentes épocas del año.**

Edad (días)	PC	FDN	FDA	Lignina
<b>Otoño</b>				
42	17.0	47.5	35.0	22.3
56	21.7	52.0	37.7	23.7
70	-	-	-	-
84	19.7	46.3	33.3	20.2
<b>Invierno</b>				
42	21.3	48.9	34.5	21.4
56	19.6	51.7	38.5	25.1
70	18.1	48.0	34.5	22.9
84	20.9	41.4	24.2	12.6
<b>Primavera</b>				
42	16.1	31.8	18.9	8.0
56	17.3	32.1	18.8	11.6
70	22.0	39.3	22.9	13.4
84	23.5	44.6	28.5	18.7

PC = Proteína cruda, FDN= Fibra detergente neutro, FDA= Fibra detergente ácida (FDA).

Los valores de FDN y FDA registrados en el presente estudio, son similares a los reportados por otros autores (32.62 a 41.83 %), en diferentes variedades de *T. diversifolia* (Ruiz *et al.*, 2016), y los de FDA (14.8 a 18.92 %) son ligeramente menores al presente ensayo. Se han reportado valores elevados de FDN (53.81 %) y FDA (48.18 %) (Gallego-Castro *et al.*, 2017), en biomasa de plantas completas, a edades mayores de 56 días y con altura de corte menor (30 cm) a la del presente ensayo. No obstante, el valor de FDN de *T. diversifolia* del presente ensayo es menor al compararlo con lo reportado en *Digitaria eriantha* (Azua-Morales *et al.*, 2020), y similar al reportado en *Leucaena leucocephala* (García-Ferrera *et al.*, 2015) bajo pastoreo. El menor contenido de FDN y FDA registrados, puede explicar por qué *T.*

*diversifolia* es una planta con alto porcentaje de degradabilidad.

### Degradabilidad ruminal

Los resultados del ajuste del modelo simple de Mitscherlich a los datos de degradación se muestran en la tabla 4. Los datos de 14 y 28 d no fueron analizados; sin embargo, los valores de los parámetros de las tres curvas (42, 56 y 84 d de rebrote) fueron muy cercanos entre sí. De hecho, el análisis comparativo indicó que los tres compartieron la misma curva, pues no hubo diferencias significativas entre estas ( $P = 0.2288$ ).

El tiempo de retardo (T, h) fluctuó desde prácticamente cero en el rebrote de 42 d, a poco más de 1 h en 56 d y 0.24 h en 84 d, para al final, ser prácticamente cero en la curva común a todas las edades de rebrote (Tabla 4; Figura 2). Los valores de A se incrementaron con la edad de rebrote, en tanto que los de B disminuyeron. En cuanto a c, tasa de degradación de B, esta se mantuvo constante a lo largo de todas las edades de rebrote. Los valores para A, B y c, de la curva común fueron: 26.16 %, 72.89 % y 0.1206 h<sup>-1</sup>.

Una tendencia a mayor degradación efectiva usual E, se observó para 42 d de rebrote en comparación con 56 y 84 d (Tabla 4).

Los perfiles de degradación obtenidos indicaron que una alta proporción de la materia seca de la hoja de *T. diversifolia* es degradada en el rumen (Figura 2). Al respecto, La O *et al.* (2012) ajustaron sus datos de degradabilidad *in situ* de la MS de esta especie, al modelo original de Orskov *et al.* (1980) sin tiempo de retardo, con este modelo, los valores de A fluctuaron de 1.95 a 25.42 %, los de B de 58.20 a 95.53 %, los de c de 0.09 a 0.39 % h<sup>-1</sup>, y los de E de 63.14 a 92.10 %, con una tasa de pasaje ( $K_p$ ) de 0.03 h<sup>-1</sup>. Por lo tanto, los valores de degradación ruminal de la MS de *T. diversifolia*, del presente ensayo se encuentran dentro de los rangos ya reportados en la literatura.

Dhanoa *et al.* (1999) mencionaron valores de 0.8 h, 35.7 %, 40.4 % y 0.176 h<sup>-1</sup> para T, A, B y c, respectivamente, en alfalfa (*Medicago sativa*). En cuanto a E y E<sub>1</sub>, estos fueron 68.7 % y 66.6 %, respectivamente, ambos menores a 83.4 % y 82.7 % estimados en el presente estudio, empleando una tasa de pasaje ruminal de 0.033 h<sup>-1</sup>.

En Kenya, Osuga *et al.* (2006) estudiaron la desaparición *in situ* de seis especies. Ellos encontraron que, en cuanto al parámetro A, *T. diversifolia* fue la segunda (38.0 %), después de *S. sesban* (43.0 %); con respecto a B fue también segunda (56.5 %) después de

**Tabla 4. Parámetros del modelo de Mitscherlich de cada edad de rebrote y de una única curva compartido por las tres edades de *Tithonia diversifolia*.**

Parámetros <sup>1</sup>	Edad de rebrote (días)			Todas las edades
	42	56	84	
T (h)	6.37E-12	1.06	0.24	4.08E-10
A (%)	24.84	28.42	27.26	26.16
B (%)	74.21	70.63	71.79	72.89
c (%/h)	0.1297	0.1266	0.1249	0.1206
R <sup>2</sup>	0.9198	0.9661	0.9637	0.9480
E (%)	84.00	82.51	83.60	83.39
E <sub>1</sub> (%)	83.45	80.74	83.20	82.67

<sup>1</sup> Ecuación simple de Mitscherlich:  $y_t = A + B(1 - e^{-c(t-T)})$ , donde: A es la fracción soluble que se supone se degrada al instante; B la parte degradable de la fracción insoluble; c es la tasa de degradación fraccionaria de B; T es el tiempo de retardo para iniciar la degradación de B. R<sup>2</sup> es el coeficiente de determinación; y<sub>t</sub> es la MS degradada al tiempo t (g perdidos/g incubados); E y E<sub>1</sub> son las degradabilidades efectivas sin y con corrección por pérdida de partículas a tiempo cero, respectivamente.

*Pennisetum purpureum* (59.9 %); y en la tasa de degradación de B (c), fue la primera (0.039 h<sup>-1</sup>) seguida por *S. sesban* (0.035 h<sup>-1</sup>). En cuanto a degradación efectiva, calculada a una k<sub>p</sub> de 0.03 h<sup>-1</sup>, esta fue de 68.6 %, segunda sólo después de *S. sesban* (69.4 %). El valor para botón de oro fue inferior al encontrado en el presente estudio por 14.8 unidades porcentuales.

La degradación ruminal de materia seca, materia orgánica, fibra en detergente neutra y fibra en detergente ácido, se asocia a las edades de corte y a los componentes fibrosos estructurales de la materia seca de *T. diversifolia*, sin embargo, en el presente ensayo la degradación fue similar (Figura 3).

*T. diversifolia* muestra un alto porcentaje de degradación ruminal lo cual se podría asociar con el alto contenido de proteína cruda y bajo contenido de fracciones fibrosas, lo que indica la posibilidad de un mayor aprovechamiento por rumiantes y, por un aprovechamiento más eficiente de los nutrientes en el rumen (Rodríguez-García, 2017). Por otro lado, Galindo *et al.*, (2011) demostró en ensayos in vitro que la inclusión de *T. diversifolia* en un 10 y 20% de la materia seca, puede disminuir en más del 50% la población de metanógenos en el fluido ruminal.

## CONCLUSIONES

La disponibilidad de materia seca y la calidad nutritiva de *Tithonia diversifolia* difiere según la época del año, bajo las condiciones agroecológicas del área de estudio, donde las mejores condiciones para el crecimiento, principalmente disponibilidad de agua, suceden en el otoño.

La degradabilidad de la MS es similar entre las edades de 42, 56 y 70 días de rebrote. Sin embargo, la cosecha de plantas a los 42 días favorece una disponibilidad mayor de biomasa, pero implicaría sacrificar el rendimiento de biomasa a una edad muy temprana. Este dilema requiere investigaciones más precisas para conocer el consumo voluntario y la ganancia de peso de los ovinos cuando se incrementa la edad del follaje ofrecido.

*T. diversifolia* por sus características nutricias y degradabilidad de la MS, mostró potencial para su utilización en rumiantes.

**Funding.** Our gratitude to the Center for Teaching, Research, and Extension in Tropical Livestock of the Faculty of Veterinary Medicine and Zootechnics of the National Autonomous University of Mexico, the College of Postgraduates (Campus Veracruz), and the National Council of Humanities, Sciences, and Technologies, for financing the development of this study.

**Conflict of interest.** The authors declare that there is no conflict of interest. The funding sources had no role in the design of the study, in the collection, analysis, or interpretation of the data, in the writing of the manuscript, or in the decision to publish the result.

**Compliance with ethical standards.** This study has been approved by the Institutional Subcommittee for the Care and Use of Experimental Animals (CICUAE for its acronym in Spanish) of the Faculty of Veterinary Medicine and Zootechnics of the National Autonomous University of Mexico. Approval Number: DC-2018/2-1.



**Data availability.** The data are available from Jesús Jarillo Rodríguez, (jjarillo@fmvz.unam.mx) upon reasonable request.

**Author Contribution Statement (CRediT).** **V.T. Vargas Velázquez:** Conceptualization, Investigation, writing – original draft. **S. López Ortiz** - Conceptualization, Investigation, writing – original draft, writing – review and editing. **E. Castillo Gallegos** – Data curation, Formal analysis, writing – original draft. **Pérez Hernández** - visualization, writing – review and editing. **C. Cruz Lazo** – Methodology, writing – review and editing. **J. Jarillo Rodríguez** - Conceptualization, Investigation, Methodology, writing – original draft, writing – review and editing. **C. Lucas Leyva** - Methodology, Visualization, writing – original draft.

## REFERENCIAS

- Alonso, J., Achan, G., Santos, L.T.D. and Sampaio, A.R., 2015. Comportamiento productivo de *Tithonia diversifolia* en pastoreo con reposos diferentes en ambas épocas del año. *Livestock Research for Rural Development*, 27(6), p. 115. <http://www.lrrd.org/lrrd27/6/alon27115.html>
- Alonso, J.T., Ruíz, T., Achang, G., Santos, L. and Sampaio, A.R., 2012. Producción de biomasa y comportamiento animal en pastoreo con *Tithonia diversifolia* a diferentes distancias de plantación. *Livestock Research for Rural Development*, 24(9), p. 160. <http://www.lrrd.org/lrrd25/11/alon25192.htm>
- Ankom Technology (ANKOM), 2010. Operator's manual "Daysi" incubator. Ankom Technology, Macedon, N.Y. <http://www.ankom.com/09procedures/daiy>.
- AOAC., 2005. Official Methods of Analysis. Edition 18. Association of Official Analytical Chemists. Washington, EE.UU. 1928 p.
- Azuara-Morales, I., López-Ortiz, S., Jarillo-Rodríguez, J., Pérez-Hernández, P., Ortega-Jiménez, E. and Castillo-Gallegos, E., 2020. Forage availability in a silvopastoral system having different densities of *Leucaena leucocephala* under Voisin grazing management. *Agroforestry Systems*, 20, pp. 1-11. <http://doi.org/10.1007/s10457-020-00487-5>
- Botero-Londoño, J., Gómez-Carabalí, M., A. and Botero-Londoño, A.M., 2019. Yield, agronomic parameters and nutritional grass y of *Tithonia diversifolia* in response to different fertilization levels. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10(3), pp. 789-800. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i3.4667>.
- Carranco-Jaurégui, M.E., Barrita-Ramírez, V., Fuente-Martínez, B., Ávila-González, E. and Sanginés-García, L., 2020. Inclusión de harina de *Tithonia diversifolia* en raciones para gallinas ponedoras de primer ciclo y su efecto sobre la pigmentación de yema de huevo. *Revista Mexicana Ciencias Pecuarias*, 11(2), pp. 355-368. <http://doi.org/10.22319/rmcp.v11i2.5090>
- Castillo, G.E., Jarillo R.J., Cortes S.I., Valles M.B. and Ocaña ZE., 2012. Número de vacas y bolsas necesarias para estimar la degradación *in situ* de hojas de King grass (*Pennisetum purpureum*). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 15 (2), pp. S95-S100. <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/1761/770>
- Castillo-Mestre, R.T., Betancourt-Bagué, C., Toral-Pérez, O.M. and Iglesias-Gómez J., 2016. Influencia de diferentes marcos de plantación en el establecimiento y la producción de *Tithonia diversifolia*. *Pastos y Forrajes*, 39(2), pp. 89-93. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269146602002>
- De Souza, O.F.J., 2007. Influência do espaçamento e da época de corte na produção de biomassa e valor nutricional de *Tithonia diversifolia* HEMSL.) Gray. Dissertação [Mestrado]. – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade de Marília, Unimar, Brasil. <https://doi.org/10.24188/recia.v0.n0.2019.693>
- Dhanoa, M.S., France, J., López, S., Dijkstra, J., Lister, S.J., Davies D.R. and Bannink. A., 1999. Correcting the calculation of extent of degradation to account for particulate matter loss at zero time when applying the polyester bag method. *Journal of Animal Science*, 77(12), pp. 3385-3391. <http://doi.org/10.2527/1999.77123385x>
- Galindo, J., González, N., Sosa, A., Ruíz, T., Torres, V., Aldana, A., Díaz, H., Moreira, O.,

- Sarduy., L. and Noda A., 2011. Efecto de *Tithonia diversifolia* (Hemsl) Gray (Botón de oro) en la población de protozoos y metanógenos ruminales en condiciones *in vitro*. *Revista Cubana Ciencias Agrícolas*, 45, pp. 33-37. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193017615009>
- Gallego, L., Mahecha, A.L. and Angulo, J., 2014. Potencial forrajero de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A. Gray en la producción de vacas lecheras. *Agronomía Mesoamericana*, 25, pp. 393-403. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43731480017>.
- Gallego-Castro, L., Mahecha-Ledesma, A.L. and 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), pp. 213-222. <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.21671>
- García, D.E., Medina, M.G., Clavero, T., Humbría, J., Baldizán, A. and Domínguez, C., 2008. Preferencia de árboles forrajeros por cabras en la zona baja de los andes Venezolanos. *Revista Científica FCV LUZ*, 18, pp. 549-555. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=95918504>.
- García-Ferrera, L., Bolaños-Aguilar, E.D., Ramos-Juárez, J., Arce, M.O. and Lagunes-Espinoza, L.C., 2015. Rendimiento y valor nutritivo de leguminosas forrajeras en dos épocas del año y cuatro edades de rebrote. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 6(4), pp. 453-468. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-11242015000400453&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242015000400453&lng=es&nrm=iso).
- García, E., 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª. ed. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 252 p.
- González-Garduño, R., Bardon y Ricardez, K., Ramos-Juárez, J., Ramírez Hernández, B., Sosa, R. and Gaona-Ponce, M., 2013. Rentabilidad de la producción de carne de ovinos Kathadin x Pelibuey con tres tipos de alimentación. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 7, pp. 135-148. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83725698008>
- Holguín, V.A., Ortiz-Grisalez, S., Velasco-Navia, A. and Mora-Delgado, J., 2015. Evaluación multicriterio de 44 introducciones de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray en Candelaria, Valle del Cauca. *Revista Medicina Veterinaria Zootecnia*, 62(2), pp. 57-72. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=407642416006>
- La O.O., González, H. Orozco, A. Castillo, Y. Ruíz, O. Estrada, A. and Castro B., 2012. Composición química, degradabilidad *in situ* y digestibilidad *in vitro* de ecotipos de *T. diversifolia* de interés para la alimentación de rumiantes. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 46(1), pp. 47-53. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193024313008>
- Lara, P.E., Canche, M.C., Marrufo, N.B. and Sanginés. J.R., 2007. Pastoreo restringido de ovejas Pelibuey en bancos de proteína de morera (*Morus alba*). *Pastos y Forrajes*, 3(2), pp. 1-1. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_ext&pid=S0864-03942007000200007&lng=es&nrm=iso](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_ext&pid=S0864-03942007000200007&lng=es&nrm=iso)
- Lezcano, Y., Soca, M., Ojeda, F., Roque, E., Fontes, D., Montejo I. L., Santana, H., Martínez, J. and Cubillas N., 2012. Caracterización bromatológica de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray en dos etapas de su ciclo fisiológico. *Pastos y Forrajes*, 35, pp. 275-282. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269125186003>
- Martínez-Romero, A.A. and Leyva-Galán, A., 2014. La biomasa de los cultivos en el agroecosistema. Sus beneficios agroecológicos. *Cultivos Tropicales*, 35(1), pp.11-20. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193230069002>
- Mahecha, L. and Rosales, M., 2005. Valor nutricional del follaje de botón de oro *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray, en la producción animal en el trópico. *Livestock Reseach for Rural Development*, 17(9), p.100.

- <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd17/9/mahe17100.htm>
- Martínez, M.R., López O.S., Ortega M.E., Soriano, J.R. Herrera H.G., López, J. and Ortega J.E., 2012. Preference, consumption and weight gain of sheep supplemented with multinutritional blocks made with fodder tree leaves. *Livestock Science*, 14(91), pp. 185-189. <http://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.06.032>
- Marquardt, D.W., 1963. An algorithm for least squares estimation of parameters. *Journal of Industrial Applied Mathematics*, 11, pp. 431-441. <https://doi.org/10.1137/0111030>
- McDonald, I., 1981. A revised model for the estimation of protein degradability in the rumen. *The Journal of Agricultural Science*, 96(1), pp. 251-252. <http://doi.org/10.1017/S0021859600032081>
- Medina, M., García, E., González, L. Cova, L. and Morantinos, P., 2009. Variables morfo-estructurales y de calidad de la biomasa de *Tithonia diversifolia* en la etapa inicial de crecimiento. *Zootecnia Tropical*, 27, pp. 121-134. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-72692009000200003&lng=es&nrm=iso](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692009000200003&lng=es&nrm=iso)
- Mejía-Díaz, E., Mahecha-Ledezma, L. and Angulo-Arizala, J., 2017. *Tithonia diversifolia* especie para ramoneo en sistemas silvopastoriles y métodos para estimar su consumo. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), pp. 289-302. <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.22673>
- Milera, M., 2013. Contribución de los sistemas silvopastoriles en la producción y el medio ambiente. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 17(3), pp. 7-24. <http://ww.ucol.mx/reviaia/pdf/2013/sept/1.pdf>
- Motulsky, H.J., 2019. Equation: Segmental Linear Regression, GraphPad Curve Fitting. Accessed 5 May 2019. [https://www.graphpad.com/guides/prism/7/curve-fitting/index.htm?reg\\_segmental\\_linear\\_regression.htm](https://www.graphpad.com/guides/prism/7/curve-fitting/index.htm?reg_segmental_linear_regression.htm)
- Navas-Panadero, N. and Montaña, V., 2019. Comportamiento de *Tithonia diversifolia* bajo condiciones de bosque húmedo tropical. *Revista Investigación Veterinaria Perú*, 30(2), pp. 721-732. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v30i2.15066>
- Ørskov E.R. and McDonald, I., 1979. The estimate of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *Journal of Agricultural Science*, 92(2), pp. 499-503. <http://dx.doi.org/10.1017/S0021859600063048>
- Ortega-Vargas, E., López-Ortiz S., Burgueño-Ferreira J.A., Bruce-Campbell, W., and Jarillo-Rodríguez, J., 2013. Date of pruning of *Guazuma ulmifolia* during the rainy season affects the availability, productivity and nutritional quality of forage during the dry season. *Agroforestry Systems*, 87, pp. 917-927. <http://doi.org/10.1007/s10457-013-9608-y>
- Osuga, I.M., Abdulrazak, S.A, Nishino, N., Ichinohe, T., and Fujihara, T., 2006. Potential nutritive value of selected browse species from Kenya using *in vitro* gas production technique and polyethylene glycol. *Livestock Research for Rural Development*, 18(12), p. 171. <https://lrrd.cipav.org.co/lrrd18/12/osug1811.htm>
- Paniagua-Hernández, L.D., Arias-Gamboa, L., Mauricio, M., Alpízar-Naranjo, A., Castillo-Umaña, M.M., Camacho-Cascante, A., Isabel, I.M, Padilla-Fallas, J. and Campos-Aguilar, E.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), pp. 275-283. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-03942020000400275&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942020000400275&lng=es&tlng=es).
- Partey, T.S., 2011. Effect of pruning frequency and pruning height on the biomass production of *Tithonia diversifolia* (Helms.) A. Gray. *Agroforestry Systems*, 83, pp. 181-187. <http://doi.org/10.1007/s10457-010-9367-y>
- Ramírez-Rivera, U., Sanginés-García J. R., Escobedo-Mex J.G., Cen-Chuc F., Rivera-Lorca J. A., and Lara-Lara P.E., 2010. Effect of diet

- inclusión of *Tithonia diversifolia* on feed intake, digestibility and nitrogen balance in tropical sheep. *Agroforest Systems*, 80, pp. 295-302. <http://doi.org/10.1007/s10457-010-9320-0>
- Ríos, C.I. and Salazar, A., 1995. Botón de oro (*Tithonia diversifolia* Hemsl Gray) una fuente proteica alternativa para el trópico. *Livestock Research for Rural Development*, 6(3), p. 25. <http://www.lrrd.org/lrrd6/3/9.htm>
- Rivera, J.E., Chará, J., Gómez-Leyva, J.F., Ruíz, T. and Barahona, R., 2018. Variabilidad fenotípica y composición fitoquímica de *Tithonia diversifolia* A. Gray para la producción animal sostenible. *Livestock Research for Rural Development*, 30(12), p. 200. <http://www.lrrd.org/lrrd30/12/rive30200.htm>
- Rodríguez-García, I., 2017. Potencialidades de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray en la alimentación animal. *Livestock Research for Rural Development*, 29(4), p. 63. <http://www.lrrd.org/lrrd29/4/idal29063.html>
- Ruíz, T., Febles G E. and Díaz, H., 2012. Distancia de plantación, frecuencia y altura de corte en la producción de biomasa de *Tithonia diversifolia* colecta 10 durante el año. *Revista Cubana Ciencia Agrícola*, 46, pp. 423. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193027579014>
- Ruíz, E.T., Alonso, G.J., Febles, J.J., Galindo, L.L. Savón, B.L. Chongo, B. Torres, V. Martínez, O Y. La O., Gutiérrez, D, Crespo, G. J., Cino, D.M., Scull, I. and González, J., 2016. *Tithonia diversifolia*: I. Estudio integral de diferentes materiales para conocer su potencial de producción de biomasa y calidad nutritiva. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 20(3), pp. 63-82. <http://ww.ucol.mx/revaiia/pdf/2016/sept/5.pdf>
- Silvert, W., 1979. Practical curve fitting. *Limnology and Oceanography*, 24, pp. 767-773. <https://doi.org/10.4319/lo.1979.24.4.0767>
- Statistical Analysis System (SAS Institute Inc.), 2013. SAS/STAT® 12.3 User's Guide. Cary, NC, USA: Author. <https://support.sas.com/documentation/onlinedoc/stat/123/intropss.pdf>
- Soto, S., Rodríguez, J. and Russo, R., 2009. Digestibilidad *in vitro* de forrajes tropicales a diferentes edades de rebrote. *Tierra Tropical*, 5(1), pp. 83-89.
- Vargas-Velázquez, V.T., Pérez-Hernández, P., López-Ortiz, S., Castillo-Gallegos, E., Cruz-Lazo, C. and Jarillo-Rodríguez, J., 2022. Producción y calidad nutritiva de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray en tres épocas del año y su efecto en la preferencia por ovinos Pelibuey. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 13(1), pp. 240-257. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i1.5906>
- Verdecia, D.M., Ramírez J.L., Leonard, Y.I., Álvarez, Y. Bazán, R. Bodas, S. Andrés, J. Álvarez, F. Giráldez, S. and López, S., 2011. Calidad de la *Tithonia diversifolia* en una zona del valle del Cauco. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 12(5), pp. 1-13. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63622168004>
- Villanueva-Partida, C.R.F., Días-Echeverría, V.J. Chay-Canul, A., Ramírez-Avilés, L., Casanova-Lugo, L. and Oros-Ortega, I., 2019. Comportamiento productivo e ingestivo de ovinos en crecimiento en sistemas silvopastoriles y de engorda en confinamiento. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10(4), pp. 870-884. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i4.4724>
- Zamora, S., García, J., Bonilla, G., Aguilar, H., Harvey, C.A. and Ibrahim, M., 2001. Como utilizar los frutos de Guanacaste (*Enterolobium cyclocarpus*), guácimo (*Guazuma ulmifolia*), genezaro (*Pithecellobium saman*) y jicaro (*Crecentia alata*) en alimentación animal? *Agroforestería en las Américas*, 8, pp. 45-49. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6954>