

Efecto de la densidad de siembra y edad de rebrote en la producción y composición bromatológica de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray**Effect of planting density and regrowth age on the production and bromatological composition of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray**

Luis Diego Paniagua-Hernández¹ <https://orcid.org/0000-0003-2257-7495>, Luis Mauricio Arias-Gamboa¹ <https://orcid.org/0000-0003-1214-5648>, Andrés Alpízar-Naranjo¹ <https://orcid.org/0000-0002-9612-4918>, Miguel Ángel Castillo-Umaña¹ <https://orcid.org/0000-0001-8114-744X>, María Isabel Camacho-Cascante¹ <https://orcid.org/0000-0002-7339-0666>, José Enrique Padilla-Fallas¹ <https://orcid.org/0000-0003-3593-640X> y Manuel Campos-Aguilar² <https://orcid.org/0000-0002-2566-4220>

¹Universidad Nacional de Costa Rica, Escuela de Ciencias Agrarias. Heredia, Costa Rica. ²Universidad Técnica Nacional de Costa Rica, Sede Atenas. Alajuela, Costa Rica. Correo electrónico: diegopaniagua@gmail.com

Resumen

Objetivo: Evaluar el efecto de la densidad de siembra y la edad de rebrote en la producción de biomasa y composición bromatológica de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray.

Materiales y Métodos: Se realizó una investigación en la Finca Experimental Santa Lucía, de la Universidad Nacional de Costa Rica. Se utilizó un diseño de parcelas divididas, completamente al azar. La densidad de siembra constituyó la parcela principal, y la edad de rebrote la subparcela, con tres repeticiones por tratamiento. Se evaluaron las densidades de siembra 1, 2 y 4 plantas/m² y se estudiaron tres edades de rebrote (42, 56 y 70 días) para un total de nueve tratamientos. Se evaluaron las variables producción de biomasa y composición bromatológica. Para el procesamiento de los datos se utilizó un análisis de varianza.

Resultados: La producción de biomasa no presentó interacción significativa ($p < 0,05$) entre la densidad de siembra y la edad de rebrote. La densidad de 2 plantas/m² y la edad de rebrote de 70 días alcanzaron la mayor producción (0,46 y 0,48 kg de MS/m², respectivamente). La interacción de los factores densidad de siembra y edad de rebrote afectaron significativamente las variables de composición bromatológica. Los contenidos de proteína estuvieron entre 8,9 y 17,5 %; los de fibra detergente neutro entre 32,7 y 42,5 %, y los de digestibilidad *in vitro* de la materia seca entre 71,6 y 85,2 %.

Conclusiones: La densidad de siembra y la edad de rebrote influyeron en la producción de biomasa y la composición bromatológica del forraje de *T. diversifolia*. Cuando se cultivó a densidad de 2 plantas/m², se logró la mayor producción de biomasa. Mientras, con 4 plantas/m² se generó competencia por la luz solar, que limitó la producción de biomasa.

Palabras clave: alimentación animal, producción de biomasa, calidad nutricional, forrajes

Abstract

Objective: To evaluate the effect of planting density and regrowth age on the biomass production and bromatological composition of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray.

Materials and Methods: A trial was conducted at the Santa Lucía Experimental Farm, of the National University of Costa Rica. A split-plot, completely randomized design was used. The planting density constituted the main plot, and regrowth age, the subplot, with three repetitions per treatment. The planting densities 1, 2 and 4 plants/m² were evaluated and three regrowth ages (42, 56 and 70 days) were studied, for a total of nine treatments. The variables biomass production and bromatological composition were evaluated. For the data processing a variance analysis was used.

Results: The biomass production did not show significant interaction ($p < 0,05$) between planting density and regrowth age. The density of 2 plants/m² and regrowth age of 70 days reached the highest production (0,46 and 0,48 kg DM/m², respectively). The interaction of the factors planting density and regrowth age significantly affected the bromatological composition variables. The protein contents were between 8,9 and 17,5 %; the neutral detergent fiber, between 3,27 and 42,5 %, and the *in vitro* dry matter digestibility values, between 71,6 and 85,2 %.

Conclusions: Planting density and regrowth age constitute variables that influenced biomass production and bromatological composition of the *T. diversifolia* forage. When it was cultivated at a density of 2 plants/m², the highest biomass production was achieved. Meanwhile, with 4 plants/m² competition for sunlight was generated, which limited biomass production.

Keywords: animal feeding, biomass production, nutritional quality, forages

Recibido: 18 de septiembre de 2020

Aceptado: 16 de octubre de 2020

Como citar este artículo: Paniagua-Hernández, L. D.; Arias-Gamboa, L. M.; Alpízar-Naranjo, A.; Castillo-Umaña, M. Á.; Camacho-Cascante, María I.; Padilla-Fallas, J. E. & Campos-Aguilar, M. Efecto de la densidad de siembra y edad de rebrote en la producción y composición bromatológica de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray. *Pastos y Forrajes*. 43 (4):275-283, 2020.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido en Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/> El uso, distribución o reproducción está permitido citando la fuente original y autores.

Introducción

Los sistemas de producción de leche en los trópicos basan su alimentación en pastos, los que presentan durante la época seca baja calidad bromatológica y reducción en la producción de biomasa (Jiménez-Castro, 2018). Esta situación conduce a la utilización de suplementos elaborados con materias primas importadas, que son de alto valor económico, lo que aumenta significativamente los costos de producción (Rojas-Bourillon y Campos-Granados, 2015; Narváez-Uribe, 2020).

Entre las estrategias para aumentar la eficiencia productiva, disminuir la dependencia de insumos externos, y mejorar la rentabilidad de los sistemas ganaderos, se han investigado métodos para mejorar la utilización de los recursos forrajeros disponibles, así como evaluaciones y validaciones de materiales con alto potencial forrajero, aprovechables en las fincas, con adecuado valor nutricional y bajos costos de producción (Canu *et al.*, 2018). Estos esfuerzos se alinean con el objetivo número 12 del desarrollo sostenible, planteado por la Organización de las Naciones Unidas, en el que se establece que el consumo y la producción sostenible se basan en el uso eficiente de los recursos y en la promoción de estilos de vida sostenibles (Meira-Carrea, 2015).

Los sistemas silvopastoriles constituyen una alternativa resiliente para la ganadería ante los desafíos del cambio climático (Morales-Velasco *et al.*, 2016). Según Cardona-Iglesias *et al.* (2017), los bancos forrajeros constituyen una estrategia nutricional viable para la suplementación de los rumiantes en el trópico, porque con el empleo de especies arbóreas o arbustivas, y de ambas, se reduce el uso de insumos externos, aumenta la fijación de CO₂ y la biodiversidad, y mejora la condición general de los suelos (Buitrago-Guillen *et al.*, 2018).

Una de las plantas utilizadas en los bancos forrajeros es *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray, que es autóctona de Mesoamérica. Esta especie posee características agronómicas y bromatológicas de alto potencial para la alimentación de rumiantes. Entre ellas se destacan su adaptación a suelos de poca fertilidad, baja utilización de insumos, alta producción de biomasa (aproximadamente 55 toneladas anuales de MS), porcentajes de proteína bruta (PB) entre 14,8 y 28,7 %, y degradabilidad de la materia seca (MS) superior a 70 % (Arronis-Díaz y Abarca-Monge, 2017; Arias-Gamboa *et al.*, 2018).

La utilización de esta planta en sistemas productivos mediante la implementación de bancos forrajeros o como sistema silvopastoril ha demostrado

resultados positivos. Con su uso, se logra mejorar la composición nutricional de la dieta de los animales y aumentar la producción, lo que se traduce en mejoras en los ingresos (Rivera *et al.*, 2015; Gallego-Castro *et al.*, 2017a; Rodríguez-García, 2017; Arias-Gamboa *et al.*, 2018).

Según Merlo-Maydana *et al.* (2017), la edad de cosecha es un aspecto de gran importancia, que influye en la calidad del alimento ofrecido a los animales. Además, se debe determinar el momento óptimo de la cosecha para encontrar el equilibrio entre el valor nutritivo y el rendimiento. En *T. diversifolia* existen estudios que evidencian el efecto de la edad de cosecha en el rendimiento y la composición bromatológica (Gallego-Castro *et al.*, 2017b; Guatusmal-Gelpud *et al.*, 2020).

Castillo-Mestre *et al.* (2016) analizaron el efecto de la densidad de siembra y edad de rebrote en la producción de biomasa de *T. diversifolia*. Sin embargo, en Costa Rica, no existen muchos estudios que relacionen estas variables con la composición bromatológica. En esta investigación se pretende evaluar el efecto de la densidad de siembra y la edad de rebrote en la producción de biomasa y la composición bromatológica de *T. diversifolia*.

Materiales y Métodos

Ubicación y clima. La investigación se realizó durante la época lluviosa (agosto-octubre) en la Finca Experimental Santa Lucía, de la Universidad Nacional de Costa Rica, ubicada en el cantón de Barva de Heredia, a una altitud de 1 260 msnm. La temperatura promedio es de 19,2 °C y la precipitación media anual, de 2 427 mm (IMN, 2020). Sus suelos predominantes son de origen volcánico o andisoles (Gómez y Montes-de-Oca, 1999).

Diseño experimental. Se utilizó un diseño de parcelas divididas, completamente al azar. La densidad de siembra constituyó la parcela principal, y la edad de rebrote la subparcela, con tres repeticiones por tratamiento. Las dimensiones de las parcelas fueron de 8 m de ancho por 14 m de largo (112 m²), con una zona de amortiguamiento entre ellas de 2 m. Se evaluaron tres densidades de siembra: 4 plantas/m² (distancia de siembra de 0,5 m entre surcos por 0,5 m entre plantas), 2 plantas/m² (0,5 x 1 m) y 1 planta/m² (1 x 1 m). Cada una de las 9 parcelas, se distribuyó de manera aleatoria en la totalidad del terreno, y se evaluaron las tres edades de rebrote en cada parcela (42, 56 y 70 días).

Tratamientos experimentales. Se evaluaron nueve tratamientos, en función de la combinación de los

Tabla 1. Tratamientos experimentales en función del efecto de la densidad de siembra y edad de rebrote de *T. diversifolia*.

Tratamiento	Densidad de siembra, plantas/m ²	Días de rebrote
1	1	42
2	1	56
3	1	70
4	2	42
5	2	56
6	2	70
7	4	42
8	4	56
9	4	70

factores densidad de siembra y edad de rebrote. En la tabla 1 se describen los tratamientos.

Procedimiento experimental. La investigación se llevó a cabo en una plantación de 1 288 m². La preparación del suelo se realizó mediante el método de mínima labranza. No se aplicaron herbicidas, ni fertilizantes ni riego. La siembra se realizó con estacas (semilla vegetativa) de 0,3 m de longitud y 0,03 m de diámetro, tomadas del primero y segundo tercio del tallo, con cuatro o cinco yemas de *T. diversifolia*, ecotipo INTA Quepos, con edad de 120 días.

El período experimental fue de 190 días: 120 para la etapa de establecimiento y 70 para la recolección de datos. El corte de homogenización se realizó a los 120 días en todas las parcelas experimentales, a altura de 0,2 m del suelo.

Producción de biomasa. Se tomaron muestras de forraje de 10 plantas por subparcela, a altura de 40 cm, de acuerdo con las recomendaciones de Arronis-Díaz (2015). Las plantas se seleccionaron de manera aleatoria, excluyendo los bordes de cada una de las parcelas experimentales. El material vegetativo (tallo y hojas) de cada planta se pesó con una balanza digital (precisión \pm 0,001 kg). Estos datos se utilizaron para estimar la producción de biomasa en MS, expresada en kg/MS/m². Las determinaciones se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Productos Animales y Vegetales (LAPAV), de la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Costa Rica.

Composición bromatológica. El material vegetal obtenido de las 10 plantas de *T. diversifolia*, cosechadas en cada subparcela, se trocó y se mezcló para recolectar una muestra de 1 kg de forraje fresco (hojas y tallos). Las muestras se empacaron en bolsas plásticas, debidamente identificadas, y se

trasladaron al LAPAV para determinar las variables MS, PB, extracto etéreo (EE) y cenizas (Cen) según la AOAC (1998). Para la determinación de la fibra detergente ácido (FDA) y la fibra detergente neutro (FDN), se utilizó la metodología descrita por Van Soest y Robertson (1985). La digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) se calculó de acuerdo con lo indicado por Van Soest *et al.* (1966).

Análisis estadístico. Se realizó un análisis de varianza para parcelas divididas, según la descripción de Kaps y Lamberson (2004). Las medias se contrastaron mediante la prueba de Tukey al 5 % de significación. La comprobación del cumplimiento de los supuestos de normalidad se realizó mediante la prueba de *Shapiro-Wilk*, y para la homogeneidad de varianza se aplicó la prueba de *Levene*. Los datos se analizaron con el programa estadístico SAS[®], versión 9.0 (SAS Institute Inc., 2009).

Resultados y Discusión

En la tabla 2 se muestran los valores de producción de biomasa del forraje de *T. diversifolia*. No se observó efecto de interacción significativo ($p < 0,05$) entre la densidad de siembra y la edad de rebrote. Sin embargo, sí se obtuvieron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las densidades y edades de rebrote, donde se observó incremento en la producción, en función del aumento de la edad y densidad de siembra.

Los valores más altos de producción de biomasa se encontraron en las densidades de 2 y 4 plantas/m², sin que se observaran diferencias significativas entre ellas. La densidad más alta se alcanzó en la siembra de 2 plantas/m², con valor de 0,46 kg de MS/m², lo que sería equivalente a 4,60 t de MS/ha por corte. Se encontraron diferencias significativas entre la densidad de siembra de 1 planta/m² con respecto a las otras dos densidades evaluadas.

Tabla 2. Producción de biomasa de *T. diversifolia*, según la densidad de siembra y edad de rebrote.

Variable	Tratamiento	Producción de MS, kg/m ²
Densidad, plantas/m ²	1	0,24 ^b
	2	0,46 ^a
	4	0,42 ^a
Valor - P		<0,009
EE ±		0,035
Edad rebrote (días)	42	0,25 ^c
	56	0,39 ^b
	70	0,48 ^a
Valor - P		<0,0001
EE ±		0,028
Densidad x Edad	Valor- P	0,3732

a, b y c: Letras diferentes en la misma columna difieren significativamente para $p < 0,05$ (Tukey).

EE: error estándar

Los resultados de este estudio son similares a los de Ríos y Salazar (1995), quienes encontraron efecto de la densidad de siembra en la producción de forraje de las plantas de *T. diversifolia*. Estos autores alcanzaron los mejores rendimientos en las densidades superiores a 1 planta/m². La densidad de siembra con mayor producción de biomasa fue de 1,80 plantas/m², lo que coincide con los resultados de esta investigación. Ríos y Salazar (1995) añaden que sería posible obtener mayores rendimientos productivos en densidades superiores a 2 plantas/m², aunque esto podría significar posibles riesgos fitosanitarios, debido a la alta densidad de siembra.

En la presente investigación hubo aumento de la producción de biomasa, conforme se incrementó la edad de rebrote. Los valores medios de producción de MS para cada edad de rebrote presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$), siendo 0,25; 0,39 y 0,48 kg de MS/m², para 42, 56 y 70 días, respectivamente (tabla 2). La producción más alta de biomasa en MS se alcanzó a los 70 días de rebrote, con 0,48 kg de MS/m².

Estos resultados se corresponden con los obtenidos por Arias (2018), quien informó 0,42 kg de MS/m² a 50 días de rebrote, en iguales condiciones edafoclimáticas. La producción de MS se incrementó significativamente ($p < 0,05$) a medida que aumentó la edad de rebrote. Esta situación también se refiere de manera muy similar en los resultados que informan Guatusmal-Gelpud *et al.* (2020).

En distintos trabajos, en los que la producción de biomasa de *T. diversifolia* en MS puede variar de 0,10 kg de MS/m² hasta 0,42 kg de MS/m² en dependencia de las condiciones edáficas y climáticas (Castillo-Mestre *et al.*, 2016; Arias-Gamboa, 2018; Guatusmal-Gelpud *et al.*, 2020), se informan resultados comparables con los de este estudio.

El aumento significativo ($p < 0,05$) en la producción por metro cuadrado con respecto a las edades de rebrote evaluadas, se atribuye a que las plantas tienen más tiempo para desarrollar sus tejidos (vasculares, meristemáticos y foliares). Por ello, el incremento de la biomasa de materia fresca repercute directamente en la producción de biomasa seca (Elizondo-Salazar, 2017).

Composición bromatológica. Las variables de composición bromatológica presentaron interacción significativa ($p < 0,05$) entre la densidad de siembra y la edad de rebrote. 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.

Los contenidos de MS de los tratamientos evaluados se muestran en la tabla 3. Los valores oscilaron de 13,4 a 16,9 %, resultados que concuerdan con lo informado por Rodríguez-García (2017). Este autor refiere que el porcentaje de MS de *T. diversifolia* varía de 13,5 a 35,0 %, según las condiciones agroecológicas y el manejo del cultivo.

El mayor contenido de MS se obtuvo para la densidad de 2 plantas/m², con 70 días de rebrote

(16,9 %). Estos valores se aproximan a los reportados por Arias-Gamboa (2018), quien logró 15 % de MS en *T. diversifolia*, a densidad de siembra de 1,2 plantas/m² y 50 días de rebrote. El contenido de MS fue al que informaron Argüello *et al.* (2020), al evaluar el forraje de este material en época de bajas y altas precipitaciones (19 %).

En la tabla 3 se muestra que conforme se incrementa la edad de rebrote, aumenta el contenido de MS. Este comportamiento se ha descrito en trabajos que evalúan esta variable en *T. diversifolia*, a distintas edades de rebrote (Guatusmal-Gelpud *et al.*, 2020). Se trata de un comportamiento normal en la mayoría de los forrajes, en los que los contenidos de MS se incrementan, según aumenta la edad de rebrote (Elizondo-Salazar, 2017).

En ese sentido, el efecto que provocó la edad de rebrote fue distinto, según la densidad de siembra. Cuando se sembró a 1 y 2 plantas/m², hubo menor contenido de MS a los 42 días en los tratamientos de 56 y 70 días, los que no difirieron significativamente entre sí.

En la densidad de 4 plantas/m², no hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) en el contenido de MS entre las edades de rebrote de 42 y 56 días. Este resultado podría estar relacionado con una mayor competencia por la búsqueda de luz entre las plantas. Castillo-Mestre *et al.* (2016) también informaron esta respuesta fisiológica, cuando estudiaron distintas densidades de siembra (1; 1,3 y 2 plantas/m²) en *T. diversifolia*. Estos autores describieron que, a mayor densidad de plantación, los tallos crecieron de forma vertical, solo con follaje en la copa, lo que provocó mayor contenido de fibra en las plantas, con su consiguiente efecto en el contenido de MS.

En la tabla 3 se muestran los resultados de la PB, que estuvieron entre 8,9 y 17,5 % para la planta *T. diversifolia* en las diferentes densidades de siembra y edades de rebrote evaluadas. El valor más alto de esta variable se alcanzó en el tratamiento de 1 planta/m² y 42 días de rebrote (17,5 %). *T. diversifolia* presentó los porcentajes más bajos de PB en las tres densidades de siembra, a la edad de 70 días. En este caso, se alcanzaron valores de 9,0; 8,9 y 9,6 % para las densidades de 1, 2 y 4 plantas/m², respectivamente, sin que hubiera diferencias significativas entre ellas. Mientras, los valores más elevados se encontraron en el rebrote de 42 días, con cifras de 17,50; 15,9 y 15,3 % para las densidades de 1, 2 y 4 plantas/m², siendo significativamente ($p < 0,05$) mayor el contenido de PB en la densidad de 1 planta/m² (tabla 3).

Arronis-Díaz y Abarca-Monge (2017) reportaron en *T. diversifolia* contenidos de PB de 14,8; 9,4 y 10,6 %, con edades de rebrote de 40, 50 y 60 días, respectivamente, cifras que resultan muy cercanas a las que se hallaron en el presente estudio.

En la tabla 3 se observa que el contenido de PB disminuye al aumentar la edad de rebrote, con porcentajes de 17,5, 12,5 y 9,0 en las edades de 42, 56 y 70 días, respectivamente, en la densidad de siembra de 1 planta/m². Un comportamiento similar se presentó en las densidades de siembra de 2 y 4 plantas/m², pero con contenidos de PB inferiores en las edades de 42 y 56 días. Este efecto puede estar relacionado con la modificación del patrón del crecimiento en las plantas, de 2 y 4 plantas/m², con respecto a la densidad de 1 planta/m². En este arreglo de la densidad, la planta podría haber presentado mayor proporción de hoja, que es la parte que posee mayores contenidos de PB con respecto a los tallos (Elizondo-Salazar, 2017). Además, podría mostrar menor competencia por la luz solar, lo que influye en el proceso de elongación de los tallos.

Los contenidos de FDN encontrados en esta investigación estuvieron entre 32,7 y 42,5 % (tabla 3). En la densidad de siembra de 1 planta/m², hubo incremento significativo ($p < 0,05$) en los valores de FDN (33,1; 39,2 y 41,2 %) en las edades de 42, 56 y 70 días de rebrote, respectivamente. En la densidad de 2 plantas/m², se registraron valores de 32,7 y 34,0 % para las edades de 42 y 56 días, y hubo un aumento significativo, que llegó a 35,7 % para el rebrote de 70 días. Con respecto a la densidad de 4 plantas/m², el mayor contenido de FDN fue de 42,5 %, a la edad de 42 días, que resultó significativamente superior al hallado en los rebrotes de 56 y 70 días.

Datos similares informaron Cardona-Iglesias *et al.* (2017), quienes obtuvieron 38,4 y 39,0 % de FDN para plantas con 90 y 70 días de rebrote, respectivamente. A su vez, Verdecia *et al.* (2011), reportaron contenidos de 43,7 y 46,8 % de FDN, para edades de rebrote de 60 y 120 días, respectivamente. Estos resultados, ligeramente superiores a los encontrados en el presente estudio, podrían estar asociados a factores de manejo agronómico. En la edad de 120 días, hubo mayor depósito de componentes de la pared celular.

El contenido de FDN aumentó, conforme se incrementaron las edades de rebrote en las densidades de 1 y 2 plantas/m². No obstante, su comportamiento en la densidad de 4 plantas/m² fue distinto, obteniéndose el porcentaje más alto de fibra a la edad de

Tabla 3. Composición bromatológica de *T. diversifolia*, según las diferentes densidades de siembra y edades de rebrote.

Densidad, plantas/m ²	Edad de rebrote, días	MS	PB	FDN	FDA	DIVMS	Ceniza	Extracto etéreo
1	42	13,4 ^c	17,5 ^a	33,1 ^d	23,9 ^{cd}	85,2 ^a	16,3 ^a	5,4 ^a
	56	16,0 ^a	12,5 ^c	39,2 ^b	29,0 ^b	81,9 ^b	13,0 ^b	3,3 ^b
	70	16,3 ^a	9,0 ^c	41,2 ^a	31,0 ^a	74,1 ^d	12,8 ^b	2,1 ^c
2	42	13,5 ^c	15,9 ^b	32,7 ^d	22,6 ^d	82,9 ^{ab}	15,3 ^a	5,1 ^a
	56	16,9 ^a	10,8 ^d	34,0 ^d	23,8 ^{cd}	79,9 ^{bc}	12,9 ^b	3,1 ^b
	70	16,9 ^a	8,9 ^c	35,7 ^c	25,2 ^c	71,6 ^d	11,5 ^c	2,0 ^c
4	42	13,9 ^{bc}	15,3 ^b	42,5 ^a	31,7 ^a	84,7 ^{ab}	15,5 ^a	5,4 ^a
	56	15,9 ^{ab}	10,78 ^d	38,1 ^b	29,3 ^b	82,3 ^b	13,2 ^b	2,9 ^b
	70	16,2 ^a	9,6 ^c	39,1 ^b	29,2 ^b	77,6 ^c	12,8 ^b	2,1 ^c
EE ±	0,980	0,490	0,706	0,600	13,975	0,499	0,279	
Valor - P	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,012	

PB: proteína bruta, FDN: fibra detergente neutro, FDA: fibra detergente ácido, DIVMS: digestibilidad *in vitro* de la materia seca
a, b, c: Letras diferentes en la misma columna son significativamente diferentes $p < 0,05$ (Tukey)
EE: error estándar

42 días (42,5 %). Este efecto puede estar relacionado con la modificación del patrón del crecimiento de las plantas, en un arreglo de mayor densidad de siembra y estados vegetativos tempranos (42 días), ya que en estas condiciones la elongación de los tallos podría ser mayor, a causa de la competencia por la luz solar.

Este comportamiento no se observó después de los 42 días de rebrote, debido a que el patrón de crecimiento se pudo haber modificado, y presentar mayor proporción de hoja, y menor proporción de tallos. Ello explicaría menor contenido de FDN, en las edades de 56 y 70 días, con respecto a la edad de 42 días de rebrote.

Los contenidos de FDA alcanzaron valores entre 22,6 y 31,7 % (tabla 3), con un comportamiento similar al de la FDN. En las densidades de 1 y 2 plantas/m², el valor de FDA fue mayor según aumentó la edad de rebrote, siendo significativamente ($p < 0,05$) diferentes. Este comportamiento es similar al descrito por García-Marrero (2003), quien indica que la edad de la planta (fenología) influye en los componentes fibrosos de los forrajes.

En la densidad de siembra de 4 plantas/m², se observó un comportamiento diferente. Hubo mayor porcentaje de FDA, a la edad de 42 días (31,7 %). Al igual que en la FDN, este comportamiento pudo estar relacionado con la modificación del patrón de crecimiento en las plantas con la densidad más alta. En ellas, la competencia por la luz solar pudo provocar mayor proporción de tallo, y por tanto, la acumulación de material fibroso.

En este estudio, los valores de FAD concuerdan con lo reportado por Cardona-Iglesias *et al.* (2017), quienes refirieron en *T. diversifolia* 27,2 % de FDA, a 70 días de rebrote. Sin embargo, Arronis-Díaz y Abarca-Monge (2017) registraron contenidos de FDA de 29,40; 42,90 y 37,00 % para 40, 50 y 60 días de rebrote, respectivamente, cifras que resultan superiores a las de la presente investigación.

Los valores de DIVMS mostraron tendencia a disminuir, conforme aumentó la edad de rebrote en todos los tratamientos evaluados, lo que no difiere del comportamiento que describen Soto *et al.* (2009). Esto podría estar relacionado con los contenidos de fibra hallados en este trabajo, donde los valores oscilaron, generalmente, entre 71,6 y 85,2 % en los tratamientos evaluados (tabla 3).

En las densidades 1 y 2 plantas/m², según disminuyó el contenido de fibra, aumentó la DIVMS. Esto no ocurrió en el arreglo de 4 plantas/m², donde a los 42 días hubo mayor porcentaje de fibras, comportamiento que podría estar relacionado con mayor digestibilidad de la fibra.

En la densidad de 1 planta/m² se constataron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las tres edades de rebrote evaluadas (tabla 3). Este comportamiento fue diferente cuando se cultivaron 2 y 4 plantas/m², donde solo hubo diferencia significativa ($p < 0,05$) a la edad de rebrote de 70 días, con respecto a las otras edades. Esto se podría asociar al factor fisiológico, que modifica la estructura general de la planta, debido al efecto que produce la competencia por la luz solar.

En la densidad de siembra de 1 planta/m², hubo un comportamiento normal. Al incrementarse la edad de rebrote, la DIVMS decreció significativamente ($p < 0,05$).

En las densidades de 2 y 4 plantas/m², el efecto de la competencia por la luz solar pudo generar una modificación en el comportamiento normal de la DIVMS de la planta (menor relación hoja/tallo), por lo que no se presentaron diferencias significativas entre las edades de 42 y 56 días. Posterior a los 56 días, sí se observó influencia significativa ($p < 0,05$) de la edad de rebrote en las densidades de 2 y 4 plantas/m².

Este comportamiento fue descrito por Noda y Martín (2008), quienes utilizaron tres densidades de siembra (1,25; 2,50 y 3,80 plantas/m²), y encontraron que a mayores densidades se producen cambios morfológicos en las plantas, producto de la competencia por la luz solar.

Los valores de DIVMS se asemejan a los que obtuvo Arias-Gamboa (2018), quien refiere 73,5 % de DIVMS, al evaluar la planta entera de *T. diversifolia*, a una edad de rebrote de 50 días, y densidad de siembra de 1,20 plantas/m², en las mismas condiciones agroclimáticas del presente estudio. Estos valores también fueron similares a los reportados por Ruiz *et al.* (2016). Estos autores hallaron cifras de 72,3 a 79,8 % de digestibilidad aparente *in vitro* de la MS, y de 81,1 a 85,7 % de digestibilidad verdadera. Los valores de cenizas estuvieron entre 11,5 y 16,3 % en los diferentes tratamientos evaluados (tabla 3).

En todos los arreglos de densidad, hubo mayor contenido de cenizas a los 42 días, con respecto a las demás edades de rebrote. Según Jaramillo-Jaramillo y Seberino-Mondragón (2015), el contenido de cenizas de los forrajes disminuye conforme aumenta la edad de rebrote, debido a que el contenido de MS de las plantas se incrementa más rápidamente que la absorción de los minerales, lo que causa que muchos minerales disminuyan su concentración.

En la densidad de 2 plantas/m², se registraron valores de 15,3; 12,9 y 11,5 % para las edades de 42, 56 y 70 días, respectivamente. Estos valores fueron significativamente diferentes, mientras que en las densidades de 1 y 4 plantas/m², no disminuyó significativamente ($p < 0,05$) el contenido de ceniza entre los 56 y 70 días de edad de rebrote.

En la presente investigación, los valores de ceniza fueron muy próximos a los que obtuvo Arias-Gamboa (2018), quien indicó 11,5 %, a densidad de siembra de 1,20 plantas/m² y 50 días de rebrote, cuando evaluó la planta entera de *T. diversifolia* (tallos y hojas).

Los valores de EE oscilaron entre 2,0 y 5,4 %, con diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos (tabla 3). En cada arreglo de densidad de plantas, hubo reducción del porcentaje de EE, conforme aumentó la edad de rebrote. No obstante, se registró mayor disminución de esta variable al pasar de 42 a 56 días, con respecto al cambio observado entre los 56 y 70 días en las tres densidades evaluadas. Esta disminución del EE concuerda con lo descrito por Elizondo-Salazar (2017), quien indica que el contenido de este nutriente puede variar entre 3 y 10 %, y disminuye con la edad del forraje.

En este trabajo, las cifras de EE son similares a las que informó Arias-Gamboa (2018), quien encontró contenidos de 2,40 % en *T. diversifolia*. En un estudio desarrollado en Colombia, Ruiz *et al.* (2016) hallaron valores entre 0,90 y 2,05 % para distintos ecotipos de *T. diversifolia*.

Conclusiones

La densidad de siembra y la edad de rebrote influyeron en la producción de biomasa y la composición bromatológica del forraje de *T. diversifolia*. Cuando se cultivó a densidad de 2 plantas/m², se logró la mayor producción de biomasa (0,46 kg de MS/m²). Mientras, con 4 plantas/m² se generó competencia por la luz solar, que limitó la producción de biomasa.

Los resultados demuestran que *T. diversifolia* se puede cultivar a una densidad de 2 plantas/m² y se puede cosechar a edades intermedias, con el propósito de mantener un contenido adecuado de producción de biomasa y calidad bromatológica.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Fundación para el Fomento y Promoción de la Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria de Costa Rica (FITTACORI) del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) por el financiamiento otorgado para la ejecución de esta investigación.

Conflictos de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses entre ellos.

Contribución de los autores

- Luis Diego Paniagua-Hernández: Diseño y montaje de los experimentos, toma y análisis de datos en el campo.
- Luis Mauricio Arias-Gamboa: Diseño y montaje del experimento en campo, toma y procesamiento de datos, asesoramiento de la investigación, redacción y revisión del manuscrito.

- Andrés Alpízar-Naranjo: Diseño y montaje del experimento en campo, toma y procesamiento de datos, asesoramiento de la investigación, redacción y revisión del manuscrito.
- Miguel Ángel Castillo-Umaña: Diseño y montaje del experimento en campo, toma y procesamiento de datos, asesoramiento de la investigación, redacción y revisión del manuscrito.
- María Isabel Camacho-Cascante: Colaboración en el diseño y montaje de los experimentos, asesoramiento de la investigación, redacción y revisión del manuscrito.
- José Enrique Padilla-Fallas: Diseño y montaje de los experimentos, toma y análisis de datos en el campo.
- Manuel Campos-Aguilar: Diseño y montaje de los experimentos, asesoramiento de la investigación, redacción y revisión del manuscrito.

Referencias bibliográficas

- AOAC. *Official methods of analysis*. 16th ed., 4th rev. Gaithersburg, USA: AOAC International, 1998.
- Argüello-Rangel, Jeraldyn; Mahecha-Ledesma, Liliana & Angulo-Arizala, J. Perfil nutricional y productivo de especies arbustivas en trópico bajo, Antioquia (Colombia). *Cienc. Tecnol. Agropecuaria*. 21 (3):e1700, 2020. DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1700.
- Arias-Gamboa, L. M. *Evaluación del uso de botón de oro (Tithonia diversifolia) como suplemento de vacas Jersey en etapa productiva*. Trabajo de gradación sometido a consideración del tribunal examinador de la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería en Agronomía con énfasis en Agricultura Alternativa. Heredia, Costa Rica: Universidad Nacional, 2018.
- Arias-Gamboa, L. M.; Alpízar-Naranjo, A.; Castillo-Umaña, M. Á.; Camacho-Cascante, María I.; Arronis-Díaz, Victoria & Padilla-Fallas, J. E. Producción, calidad bromatológica de la leche y los costos de suplementación con *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray, en vacas Jersey. *Pastos y Forrajes*. 41 (4):266-272, 2018.
- Arronis-Díaz, Victoria. *Banco forrajero de botón de oro (Tithonia diversifolia)*. InfoAgro 2. Costa Rica: Ministerio de Agricultura y Ganadería. http://www.infoagro.go.cr/InfoRegiones/Publicaciones/banco_forrajero_boton_oro.pdf, 2015.
- Arronis-Díaz, Victoria & Abarca-Monge, S. *Sistemas de producción ganaderos competitivos con bajas emisiones de gases de efecto invernadero en Costa Rica*. Centro Colón, Costa Rica: Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, 2017.
- Buitrago-Guillen, María E.; Ospina-Daza, L. A. & Narváez-Solarte, W. Sistemas silvopastoriles: alternativa en la mitigación y adaptación de la producción bovina al cambio climático. *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. U. de Caldas*. 22 (1):31-42, 2018. DOI: <http://doi.org/10.17151/bccm.2018.22.1.2>.
- Canu, F. A.; Audia, Ivana; Tobar, D. & Andrade, H. J. *Estrategia de desarrollo bajo en carbono (LCDS) para el sector ganadero en Nicaragua*. Copenhagen: UNEP DTU Partnership, 2018.
- Cardona-Iglesias, J. L.; Mahecha-Ledesma, Liliana & Angulo-Arizala, J. Efecto sobre la fermentación *in vitro* de mezclas de *Tithonia diversifolia*, *Cenchrus clandestinum* y grasas poliinsaturadas. *Agron. Mesoam*. 28 (2):405-426, 2017 DOI: <https://dx.doi.org/10.15517/ma.v28i2.25697>.
- Castillo-Mestre, R.; Betancourt-Bagué, Tania; Torral-Pérez, Odalys C. & Iglesias-Gómez, J. M. Influencia de diferentes marcos de plantación en el establecimiento y la producción de *Tithonia diversifolia*. *Pastos y Forrajes*. 39 (2):89-93, 2016.
- Elizondo-Salazar, J. A. Producción de biomasa y calidad nutricional de tres forrajes cosechados a dos alturas. *Agron. Mesoam*. 28 (2):329-340, 2017. DOI: <https://doi.org/10.15517/ma.v28i2.23418>.
- Gallego-Castro, L. A.; Mahecha-Ledesma, Liliana & Angulo-Arizala, J. Calidad nutricional de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray bajo tres sistemas de siembra en el trópico alto. *Agron. Mesoam*. 28 (1):213-222, 2017b. DOI: <https://dx.doi.org/10.15517/am.v28i1.21671>.
- Gallego-Castro, L. A.; Mahecha-Ledesma, Liliana & Angulo-Arizala, J. Producción, calidad de leche y beneficio: costo de suplementar vacas Holstein con *Tithonia diversifolia*. *Agron. Mesoam*. 28 (2):357-370, 2017a. DOI: <https://doi.org/10.15517/ma.v28i2.25945>.
- García-Marrero, D. E. *Evaluación de los principales factores que influyen en la composición fitoquímica de Morus alba (Linn.)*. Tesis presentada en opción al título académico de Master en Pastos y Forrajes. Matanzas, Cuba: EEPF Indio Hatuey, 2003.
- Gómez, O. & Montes-de-Oca, Paulina. Estudio detallado de suelos de la finca Santa Lucía en Barva, Heredia. *XI Congreso Agronómico Nacional y de Recursos Naturales*. San José, Costa Rica: Colegio de Ingenieros Agrónomos. p. 31. http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_xi/a50-6907-III_031.pdf, 1999.
- Guatusmal-Gelpud, Carolina; Escobar-Pachajoa, Laura D.; Meneses-Buitrago, D. H.; Cardona-Iglesias, J. L. & Castro-Rincón, E. Producción y calidad de *Tithonia diversifolia* y *Sambucus nigra* en trópico altoandino colombiano. *Agron. Mesoam*. 31 (1):193-208, 2020. DOI: <https://dx.doi.org/10.15517/am.v31i1.36677>.

- IMN. *Datos climáticos*. San José, Costa Rica: Instituto Meteorológico Nacional. <https://www.imn.ac.cr/estaciones-automaticas>, 2020.
- Jaramillo-Jaramillo, O. & Seberino-Mondragón, O. *Composición química, valor nutritivo y cinética de degradación in vitro de Pennisetum purpureum var. CT-115 cosechada a tres intervalos de corte*. Tesis para obtener el título de Ingeniero Agrónomo Zootecnista. Temascaltepec, México: Universidad Autónoma del Estado de México, 2015.
- Jiménez-Castro, J. P. *Efecto de la época y los días de rebrote sobre la producción y la calidad nutritiva de pastos en Costa Rica*. Tesis sometida a consideración del tribunal examinador del Posgrado Regional en Ciencias Veterinarias Tropicales con énfasis en Producción Animal Sostenible para optar al grado de Magíster Scientiae. Heredia, Costa Rica: Universidad Nacional, 2018.
- Kaps, M. & Lamberson, W. R. *Biostatistics for animal science*. United Kingdom: CABI Publishing, 2004.
- Meira-Cardete, P. Á. De los objetivos de desarrollo del milenio a los objetivos para el desarrollo sostenible: el rol socialmente controvertido de la educación ambiental. *Educació social. Revista d'intervenció socioeducativa*. 61:58-73, 2015.
- Merlo-Maydana, F. E.; Ramírez-Avilés, L.; Ayala-Burgos, A. J. & Ku-Vera, J. C. Efecto de la edad de corte y la época del año sobre el rendimiento y calidad de *Brachiaria brizantha* (A. Rich.) Staff en Yucatán, México. *J. Selva Andina Anim. Sci.* 4 (2):116-127, 2017.
- Morales-Velasco, Sandra; Vivas-Quilas, N. J. & Terán-Gómez, V. F. Ganadería eco-eficiente y la adaptación al cambio climático. *Biotechnol. sector agropecuario agroind.* 14 (1):135-144, 2016. DOI: [https://dx.doi.org/10.18684/BSAA\(14\)135-144](https://dx.doi.org/10.18684/BSAA(14)135-144).
- Narváez-Urbe, O. *Respuesta productiva de vacas lecheras en pastoreo de pastizales nativos a la suplementación con un concentrado experimental, en comparación con un concentrado balanceado comercial en un sistema de producción de leche en pequeña escala en el estado de Hidalgo*. Tesis para obtener el título de Médico Veterinario Zootecnista. Toluca, México: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México, 2020.
- Noda, Yolai & Martín, G. J. Efecto de la densidad de siembra en el establecimiento de morera para su inclusión en sistemas ganaderos. *Zootecnia Trop.* 26 (3):339-341, 2008.
- Ríos, Clara I. & Salazar, Amparao Botón de oro (*Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray) una fuente proteica alternativa para el trópico. *LRRD.* 6 (3). <http://www.lrrd.org/lrrd6/3/9.htm>. [1995].
- Rivera, J. E.; Cuartas, C. A.; Naranjo, J. F.; Tafur, O.; Hurtado, E. A.; Arenas, F. A. *et al.* Efecto de la oferta y el consumo de *Tithonia diversifolia* en un sistema silvopastoril intensivo (SSPi), en la calidad y productividad de leche bovina en el piedemonte Amazónico colombiano. *LRRD.* 27 (10). <http://www.lrrd.org/lrrd27/10/cont2710.htm>. [2015].
- Rodríguez-García, Idalmis. Potencialidades de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray en la alimentación animal. *LRRD.* 29 (4). <http://www.lrrd.org/lrrd29/4/cont2904.htm>. [2017].
- Rojas-Bourrillon, A. & Campos-Granados, C. M. Hacia sistemas más intensivos en la producción de carne bovina: pastoreo con suplementación, semiestabulación y estabulación. *Revista UTN informa al sector agropecuario*. XVII (74):14-21, 2015.
- Ruiz, T. E.; Alonso, J.; Febles, G. J.; Galindo, Juana L.; Savón, Lourdes L.; Chongo, Bertha B. *et al.* Estudio integral de diferentes materiales para conocer su potencial de producción de biomasa y calidad nutritiva. *AIA.* 20 (3):63-82, 2016.
- SAS Institute Inc. *SAS/STAT® User's guide: Statistics. Version 9.0*. Cary, USA: SAS Institute, 2009.
- Soto, S.; Rodríguez, J. C. & Russo, R. Digestibilidad *in vitro* en forrajes tropicales a diferentes edades de rebrote. *Tierra Tropical.* 5 (1):83-89, 2009.
- Van Soest, P. J. & Robertson, J. B. *Analysis of forages and fibrous foods*. Ithaca, USA: Department of Animal Science, Cornell University. Laboratory manual, 1985.
- Van Soest, P. J.; Wine, R. H. & Moore, L. A. Estimation of the true digestibility of forages by the *in vitro* digestion of cell wall. *10th International Grassland Congress*. Helsinki. p. 438-441, 1966.
- Verdecia, D. M.; Ramírez, J. L.; Leonard, I.; Álvarez, Y.; Bazán, Y.; Bodas, R. *et al.* Calidad de la *Tithonia diversifolia* en una zona del Valle del Caucho. *REDVET.* 12 (5):1-13. <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n050511.html>, 2011.