



Producción y calidad nutritiva de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Grey en tres épocas del año y su efecto en la preferencia por ovinos Pelibuey



Vicky Tatiana Vargas Velázquez ^a

Ponciano Pérez Hernández ^a

Silvia López Ortiz ^a

Epigmenio Castillo Gallegos ^b

Cristino Cruz Lazo ^b

Jesús Jarillo Rodríguez ^{b*}

^a Colegio de Postgraduados. Campus Veracruz. México.

^b Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical, Km 5.5 carretera federal Martínez de la Torre-Tlapacoyan, 93600, Tlapacoyan, Veracruz, México.

* Autor de correspondencia: jjarillo@unam.mx

Resumen:

Se determinó producción, calidad nutritiva y preferencia de *T. diversifolia* por ovinos Pelibuey a diferentes edades, en tres épocas del año. Se midió la producción de materia seca (MS) y calidad nutritiva de forraje cada 14 días, desde el corte hasta 84 días de edad. Se tomaron muestras de hoja y tallo para determinar proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácida (FDA). Se utilizaron ocho ovinos Pelibuey adultos para determinar su preferencia por el follaje de *T. diversifolia* a los 42, 56 y 70 días de rebrote. La producción de MS total fue similar en otoño e invierno y ambas mayores que primavera. En otoño a los 56 días y en invierno a los 70 días después del corte, la producción de MS fue 9 t ha⁻¹, mientras que en primavera a los 84 días fue cercana a las 3 t ha⁻¹. El incremento o decremento de los componentes morfológicos de la biomasa a través del tiempo fue distinto entre las épocas evaluadas y mostró un comportamiento

curvilíneo en el tiempo, dentro de cada época. La PC aumentó en forma lineal con la edad de corte. En otoño e invierno hubo mayor porcentaje de FDN y FDA. Las plantas de 42 días tuvieron menor porcentaje de FDA. El rendimiento de MS y la calidad nutritiva de *T. diversifolia* difiere según la época del año y la edad de rebrote. La edad de corte de la planta afectó su preferencia por los ovinos Pelibuey ($P=0.0091$), fue mayor por el follaje de 42 días, seguido por 56 y 70 días.

Palabras clave: Ovinos en pastoreo, *Cynodon nlemfuensis*, Trópico, Recursos forrajeros.

Recibido: 19/12/2020

Aceptado: 29/04/2021

Introducción

La alimentación de los ovinos en el trópico mexicano se basa en el pastoreo de gramíneas con bajo valor de proteína cruda (PC), alto en de fibra detergente neutro (FDN), y de fibra detergente acida (FDA), y baja digestibilidad de la materia seca (MS)^(1,2,3); esto provoca baja productividad, particularmente en los ovinos en crecimiento que producen ganancias de peso menores a 70 g día⁻¹^(4,5). La calidad de la dieta de los ovinos podría mejorarse con el uso de arbustos y árboles forrajeros conocidos por tener altos contenidos de PC (14-30 %), menor FDN (28.4 - 51.9 %) y FDA (19.5 - 37.5), y mayor digestibilidad (48-80 %); la complementación de la dieta con follajes de este tipo de plantas mejora el consumo de los pastos^(2,6), la digestibilidad de la MS^(7,8), y generan beneficios al ambiente⁽⁹⁾.

Una especie arbustiva con potencial forrajero es *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray, de la familia Asterácea, que produce hasta 19.5 t de MS ha⁻¹ año⁻¹⁽¹⁰⁾, e incrementar con fertilización, puede contener de 11.7 a 30 % PC^(11,12,13), degradabilidad en rumen de 50 a 90 %⁽¹⁴⁾, bajos contenidos de FDA (24.1 a 48.9 %) y FDN (14.8 a 55.9 %), niveles aceptables de compuestos secundarios como fenoles (30.5 %) y taninos (5.7 %)^(15,16), por lo que su uso puede mejorar la productividad y la rentabilidad de las unidades de producción, sin afectar la calidad de los productos^(17,18). Además, el uso de *T. diversifolia* mejora el reciclaje de nutrientes⁽¹⁹⁾, previene la erosión de los suelos⁽²⁰⁾ y se utiliza en sistemas de corte y acarreo, como banco de forraje o pastoreo en sistemas silvopastoriles^(13,20).

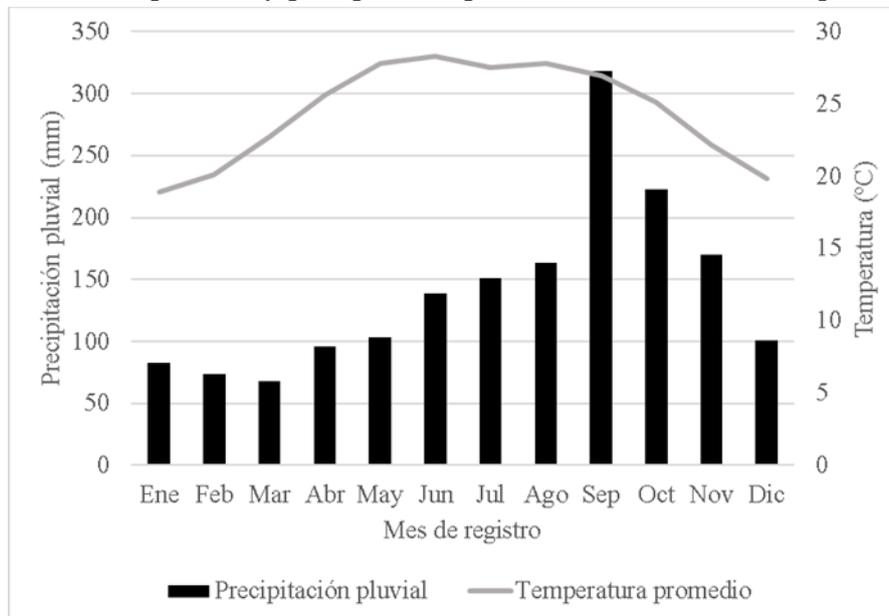
El objetivo fue evaluar la cantidad de MS producida de *T. diversifolia*, la calidad nutritiva a cuatro edades de corte, en las épocas de otoño, invierno y primavera; y la preferencia de los ovinos por follaje por esta especie en distintas edades de rebrote.

Material 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 de la FMVZ-UNAM; ubicado en el municipio de Tlapacoyan, a 20°02' N y 97° 06' O, a 151 msnm. El clima en la región es Af(m)w”(e), cálido húmedo⁽²¹⁾ con 23.5 °C de temperatura media anual y 1,991 mm anuales de precipitación pluvial. Se distinguen tres épocas del año: lluvias de julio a octubre, nortes de noviembre a febrero (otoño e invierno), y seca de marzo a junio (primavera; Figura 1). El suelo en el sitio es de tipo ultisol; ácidos de baja fertilidad y de color café rojizo, subyace inmediatamente tepetate que origina una capa subterránea semipermeable al agua que provocan encharcamientos temporales.

Figura 1: Temperatura y precipitación pluvial mensual del sitio experimental



Fases de la investigación

La investigación se realizó en tres fases. La primera fase se realizó en el mes de julio, para establecer una parcela de 158 x 55 m (8,715 m²) de *T. diversifolia*. La segunda se llevó a cabo de octubre de 2018 a junio de 2019, para evaluar el rendimiento de materia seca y el valor nutritivo de la MS en tres épocas del año (otoño, invierno y primavera). En la tercera etapa, del 13 de marzo al 01 de abril del 2019 se realizó una prueba de preferencia por ovinos de forraje de *T. diversifolia* a tres edades.

Fase 1. Establecimiento de *Tithonia diversifolia*

Se estableció una parcela con *T. diversifolia* utilizando estacas de 20 a 30 cm de longitud, sembradas a 60 x 60 cm de distancia para una densidad de 27,778 plantas ha⁻¹. Las plantas permanecieron sin riego ni fertilización, solo se realizó control manual de arvenses.

Fase 2. Evaluación de rendimiento y el valor nutritivo de materia seca de *Tithonia diversifolia*

Se realizaron muestreos de forraje en cada época: 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 plantas a 50 cm de altura 14 días previo a los muestreos.

Se seleccionaron 52 plantas y de éstas, se asignaron cuatro de forma aleatoria a cada una de seis edades de corte (14, 28, 42, 56, 70 y 84 días). Los muestreos de forraje se planearon para realizarse cada 14 días hasta que las plantas llegaran a su punto de mejor momento de condición forrajera; las plantas alcanzan ese punto antes del inicio de la floración⁽¹³⁾, por lo cual, se hicieron observaciones de la fenología para que el último corte coincidiera con los primeros indicios de floración.

En cada muestreo, las plantas se cortaron a 5 cm de altura sobre la superficie del suelo. El material de cada planta se pesó y se separó en hojas, tallos, flores y material muerto, y se secaron en estufa de aire forzado a 60 °C durante 72 h. Se determinó la concentración de PC en hojas⁽²²⁾, FDN, FDA por el método de la bolsa de filtro (ANKOM2000; Ankom Technology, NY, USA).

Fase 3. Prueba de preferencia

Para la prueba de preferencia se utilizó planta completa de *T. diversifolia* a los 42, 56 y 70 días de edad de rebrote, las plantas se podaron del 12 al 16 de enero para la edad de 70 días, del 16 al 30 de enero para 56 días, y del 30 de enero al 13 de febrero para 42 días. Se utilizaron ocho ovinos adultos de raza Pelibuey, con un peso promedio de 52 kg y edad aproximada de 14 meses; estos animales tenían el hábito de consumo de *T. diversifolia* desde el destete, y bajo pastoreo de *C. nlemfuensis*. El experimento se realizó durante un periodo de 20 días; los primeros 10 días fueron de adaptación⁽²³⁾; en este periodo, los animales permanecieron en potreros de *C. nlemfuensis* (6 x 5 m) las 24 h del día y se trasladaron al corral diariamente de 1200 a 1230 h para acostumarlos al manejo. Del día 11 al 20 se realizó la prueba de preferencia; diariamente se ofrecieron 600 g de forraje verde picado (de planta completa) de *T. diversifolia* equivalentes a 77.1, 84.6 y 91.7 g MS de 42, 56 y 70 días, respectivamente. El follaje se ofreció durante 15 min (de 1200 a 1215 h), simultáneamente en un comedero con sus separaciones respectivas. La preferencia por la edad de forraje de *T. diversifolia* se estimó mediante el consumo de follaje de cada edad de rebrote que se obtuvo con base en la cantidad de MS ofrecida menos la MS residual durante los 15 min en que se ofertó. Una muestra por edad ofrecida se colectó diariamente para determinar MS, PC, FDN, FDA y lignina.

Análisis estadísticos

Por ser la edad una variable continua, con los datos de biomasa producida a las distintas edades de rebrote se realizó un análisis de tendencias mediante polinomios ortogonales, con el fin de determinar si los efectos de primero a quinto grado de edad de la planta eran significativos o no. Asimismo, se compararon entre sí las épocas y se compararon las respuestas lineales, cuadráticas y logarítmicas, entre épocas.

Se graficaron las medias de cuadrados mínimos y sus errores estándar (y) contra la edad de rebrote (x) para cada época y determinar el tipo de crecimiento que presentó la planta en las diferentes épocas, resultando una curva sigmoidea para otoño e invierno y una de tipo exponencial para primavera. En las dos primeras, se ajustaron a los datos con el siguiente modelo logístico:

$$\frac{a}{1 + \left(\frac{b}{x}\right)^c}$$

Dónde: a, es el valor asintótico o máximo rendimiento de MS (kg ha^{-1}); b, son los días al valor $a/2$; y c, es una constante que determina la pendiente. Para la época de primavera se usó la ecuación de crecimiento exponencial clásica que es:

$$y = ae^{c*x}$$

Dónde: a, es el valor del rendimiento de MS cuando $x = 0$, y c es la tasa de crecimiento relativo ($\text{kg kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$). Para ajustar estos modelos se utilizó GraphPad Prism[®] v 7.05.

Para determinar la preferencia de los ovinos por alguna de las tres edades de rebrote de *T. diversifolia* se utilizó un modelo generalizado mixto (procedimiento GLM) para un diseño completamente al azar y el modelo incluyó el efecto de tratamiento (edad), día y la interacción tratamiento*día; se utilizó el procedimiento GLM y la prueba de medias LSMEANS del Statistical Analysis System Version 9.3.

Resultados

Rendimiento de materia seca (RMS)

En RMS total (kg día^{-1}), los efectos principales de edad, época y su interacción fueron significativos, sin embargo, los efectos principales de la edad de rebrote y la época, pierden relevancia por sí mismos, al interactuar entre sí ($P < 0.001$), la respuesta de la edad depende de la época. Solo se encontró efecto de primer orden de la edad ($P < 0.001$), en tanto que los efectos de segundo a quinto orden no fueron significativos (Cuadro 1). Con respecto a la época, otoño e invierno fueron similares entre sí ($P = 0.4036$) y ambas superaron a la primavera ($P < 0.0005$ y $P < 0.0001$, respectivamente). El efecto lineal de la edad fue diferente entre invierno y primavera ($P < 0.0214$) y entre otoño y primavera ($P < 0.0001$). Por su parte, el efecto cuadrático solo difirió entre otoño y primavera

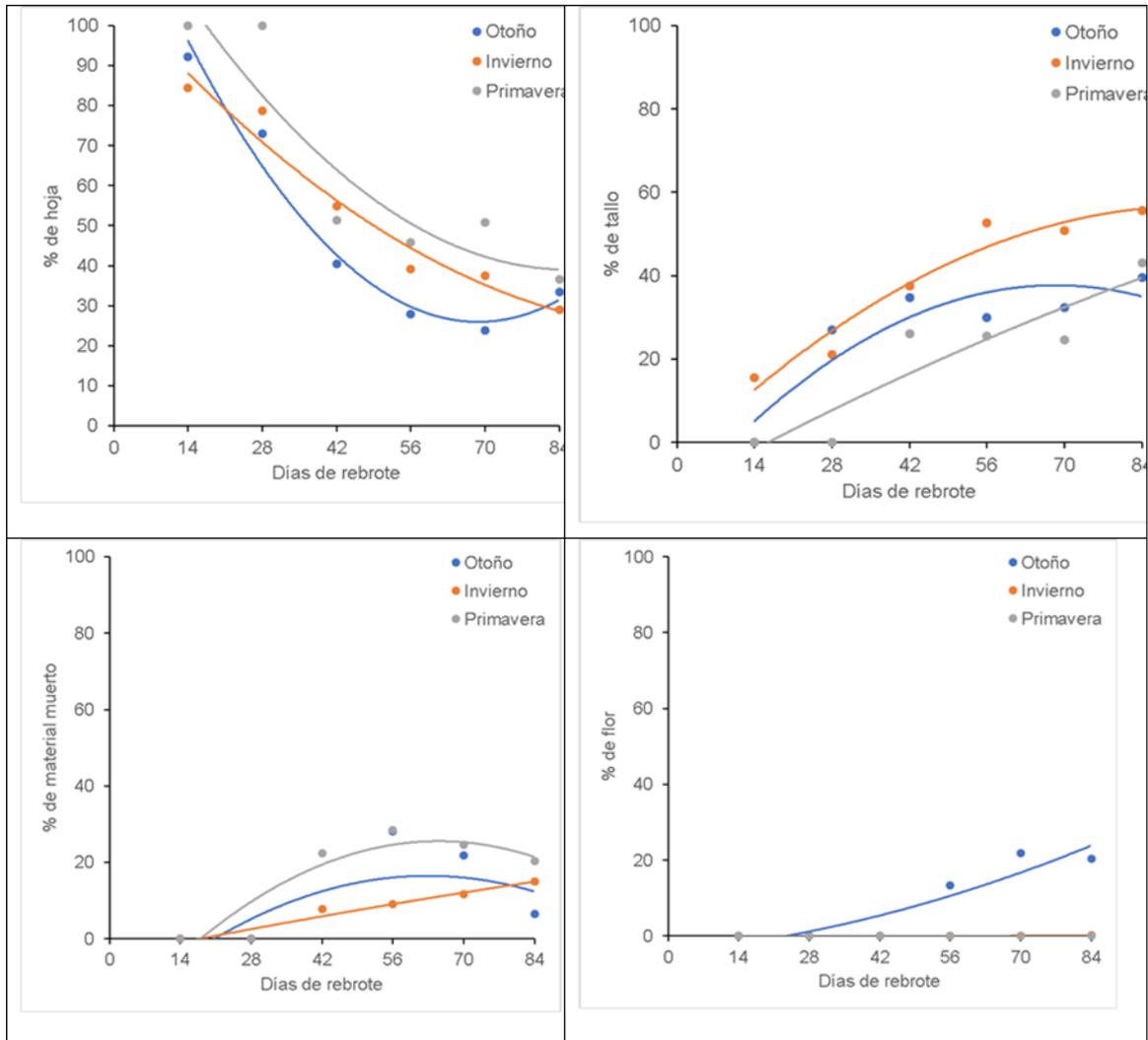
($P < 0.0001$), sucediendo lo mismo con el efecto cúbico ($P < 0.0001$). Todo esto sugiere una respuesta curvilínea del RMS que difiere parcialmente entre las épocas.

Cuadro 1: Comparaciones de los efectos de primero a quinto orden de la edad de rebrote de acuerdo a la época del año

Contraste	Estimador	Error estándar	Valor de t	Pr > t
.....Edad				
Lineal	55635.00	6039.16	9.21	<.0001
Cuadrático	-10024.00	6604.19	-1.52	0.1421
Cúbico	-17372.00	9677.15	-1.80	0.0852
Cuártico	1416.64	3814.71	0.37	0.7136
Quíntico	-4228.24	11416.00	-0.37	0.7143
..... Época				
Invierno vs otoño	-765.59	900.39	-0.85	0.4036
Invierno vs primavera	3529.51	880.92	4.01	0.0005
Otoño vs primavera	4295.11	148.15	28.99	<.0001
..... Lineal x Época				
Invierno vs otoño	-4649.11	18453.00	-0.25	0.8032
Invierno vs primavera	44443.00	18061.00	2.46	0.0214
Otoño vs primavera	49092.00	3104.37	15.81	<.0001
..... Cuadrático x Época				
Invierno vs otoño	11108.00	20214.00	0.55	0.5877
Invierno vs primavera	-20541.00	19775.00	-1.04	0.3093
Otoño vs primavera	-31649.00	3314.05	-9.55	<.0001
..... Cúbico x Época				
Invierno vs otoño	-13391.00	29590.00	-0.45	0.6549
Invierno vs primavera	-43049.00	28956.00	-1.49	0.1501
Otoño vs primavera	-29658.00	4924.77	-6.02	<.0001
..... Cuártico x Época				
Invierno vs otoño	-4077.04	11670.00	-0.35	0.7299
Invierno vs primavera	-3243.43	11419.00	-0.28	0.7788
Otoño vs primavera	833.61	1927.01	0.43	0.6692
..... Quíntico x Época				
Invierno vs otoño	23420.00	35010.00	0.67	0.5099
Invierno vs primavera	18496.00	34233.00	0.54	0.5940
Otoño vs primavera	-4923.63	5559.25	-0.89	0.3846

El RMS a la edad de rebrote en cada época, como se observa en la Figura 2, otoño e invierno presentaron un comportamiento muy similar y el modelo logístico se ajustó adecuadamente ($R^2 > 0.9$) a los datos. Por su parte, el modelo exponencial en primavera también presentó una $R^2 > 0.9$.

Figura 2: Relación entre días de rebrote y contribución porcentual a la composición botánica de los componentes flor, material muerto, tallo y hoja de *Thitonia diversifolia* en el trópico húmedo del estado de Veracruz



Componentes morfológicos de la planta

La prueba de efectos fijos tipo III reveló que la edad de rebrote, la época y la interacción de ambos fueron significativos en los modelos de los porcentajes de hoja, tallo, material muerto y flor que componen la MS de las plantas. Al igual que en el RMS, la respuesta al efecto de la edad dependió de la época ($P < 0.0001$). Por ese motivo, también se hicieron las comparaciones entre sí, de los efectos lineales, cuadráticos, cúbicos, hasta de quinto orden, de las épocas (Cuadro 2). La mayoría de los contrastes fueron altamente significativos ($P < 0.0001$), lo que indicó que la composición morfológica de la planta cambió en cada época, y que dicho cambio fue curvilíneo. El incremento (o decremento)

en la cantidad de hojas (Figura 2, Cuadro 3) por ejemplo, solo coincidió en incrementos cúbicos entre invierno y primavera ($P=0.3662$), e incrementos cuártico y quintico entre otoño y primavera ($P=0.9221$ y $P=0.4229$, respectivamente).

Cuadro 2: Probabilidades de las comparaciones entre épocas de los efectos de primer a quinto orden de la edad de rebrote sobre los porcentajes de hoja, tallo y material muerto (MM) de *Tithonia diversifolia*

Contraste	Componente morfológico			
	Hoja	Tallo	MM	Flor
 Lineal			
Invierno vs otoño	<.0001	<.0001	0.3362	<.0001
Invierno vs primavera	0.0085	0.3349	<.0001	0.7830
Otoño vs primavera	<.0001	<.0001	0.0007	<.0001
 Cuadrático.....			
Invierno vs otoño	<.0001	0.0318	<.0001	<.0001
Invierno vs primavera	0.0017	0.0019	<.0001	0.7939
Otoño vs primavera	<.0001	<.0001	0.0979	<.0001
 Cúbico			
Invierno vs otoño	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Invierno vs primavera	0.3662	0.0002	0.0011	0.8614
Otoño vs primavera	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
 Cuártico			
Invierno vs otoño	<.0001	0.0006	0.0930	<.0001
Invierno vs primavera	<.0001	0.0010	0.0004	0.9286
Otoño vs primavera	0.9221	<.0001	<.0001	<.0001
 Quintico			
Invierno vs otoño	<.0001	0.0283	<.0001	<.0001
Invierno vs primavera	0.0002	0.0002	0.6374	0.9747
Otoño vs primavera	0.4229	0.1098	<.0001	<.0001

Cuadro 3: Parámetros y estadísticos de ajuste de los polinomios de segundo y tercer grado, empleados para ver el efecto de la edad de rebrote (14, 28, 42, 56 y 84 días) sobre el porcentaje de los componentes morfológicos de la planta de *Tithonia diversifolia*

Época	Parámetros				Estadísticos de ajuste		GL
	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	S _{y,x}	R ²	
Otoño	171.0	-4.476	0.033850	----	1.997	0.9948	2
Invierno	108.1	-1.519	0.006833	----	6.097	0.9579	3
Primavera	135.0	-2.237	0.013040	----	14.210	0.8489	3
Otoño	-55.330	5.238	-0.099310	0.000601	1.946	0.9923	2
Invierno	-4.246	1.303	-0.006961	----	5.142	0.9640	2
Primavera	-11.670	0.735	-0.001491	----	10.450	0.8463	2
Otoño	-20.180	1.166	-0.009266	----	9.300	0.4480	3
Invierno	-4.641	0.2684	-0.000417	----	1.481	0.9419	3
Primavera	-23.300	1.502	-0.011550	----	5.314	0.8244	3
Otoño	-4.369	0.1303	0.002447	----	5.18	0.8560	3
Invierno	0.1462	-0.01007	0.0001332	----	0.07136	0.7857	3
Primavera	3.418E-15	-2.82E-16	3.222E-18	----	1.982E-15	0.6153	3

B₀ = ordenada al origen (intercepto); B₁, B₂, B₃ = coeficientes de regresión de primero, segundo y tercer orden, respectivamente; S_{y,x} = desviación estándar del residual; R² = es la ajustada por el número de parámetros en la ecuación.

Congruente con el decremento de hojas e incremento de tallos con la edad, la cantidad de material muerto (Figura 2, Cuadro 3) también se incrementó, mostrando un comportamiento curvilíneo que difiere en algunos contrastes (Cuadro 2) pero con una tendencia a incrementarse en las tres épocas. La presencia de flores solo se observó en el otoño y a partir del día 42.

Composición química de MS de hojas

El contenido de PC aumentó en forma lineal a medida que aumento la edad de corte (Cuadro 4), con valores que fueron de 18.3 ± 2.9 a 21.3 ± 1.8 % para la edad de 42 y 84 días, respectivamente. La concentración de FDN, FDA y lignina aumentaron de 42 a 56 días y se mantuvieron de 70 a 84 días. El mayor porcentaje de FDA y lignina se registró en las épocas de otoño e invierno y el menor durante la primavera; con respecto a la edad, hubo mayor porcentaje en las plantas de 56 días de edad y menor en 84 días.

Cuadro 4: 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
Otoño				
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
Invierno				
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
Primavera				
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
Promedio \pm desviación estándar				
	19.8 \pm 2.4	42.6 \pm 6.6	28.3 \pm 6.8	17.4 \pm 5.2

PC= proteína cruda, FDN= fibra detergente neutro, FDA= fibra detergente ácido FDA.

Preferencia de *Tithonia diversifolia* por ovinos

En la prueba de preferencia, el consumo (promedio \pm EE) de MS de *T. diversifolia* a 42, 56 y 70 días de rebrote fue de 62.6 ± 2.1 ; 42.7 ± 3.1 ; 34.7 ± 3.7 g MS día⁻¹, respectivamente ($P < 0.0001$) y fue superior el consumo de follaje de 42 días ($P < 0.05$). Al analizar los consumos diarios de materia seca, se observó una interacción marginal de la edad de rebrote x el día de prueba ($P = 0.06$), que hizo que los consumos variaran a través de los días. En los primeros dos días, el consumo de follaje aumentó en las tres edades de corte. Mientras que del día 2 al 4 en la edad de 42 días disminuyó el consumo 49.1 %, de 56 y 70 días de rebrote disminuyó 25.7 y 45.3 %, respectivamente. Sin embargo, a partir de cuarto día en la edad de 42 el consumo aumento y a la edad de 56 el consumo se mantiene. Después del día 5, el consumo se mantuvo sin grandes fluctuaciones en las tres edades del follaje.

Discusión

Rendimiento de materia seca

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 %⁽²⁴⁾, porque es una

planta que responde ampliamente a la humedad^(23,25). Los resultados obtenidos en el presente estudio son similares a los obtenidos en otras investigaciones⁽²⁶⁾. En las tres épocas, el rendimiento aumentó lentamente en las primeras semanas después del corte (Figura 2); en otoño a los 56 días y en invierno a los 70 días después del corte, las plantas alcanzaron un rendimiento cercano a las 9.0 t MS ha⁻¹, mientras que, en primavera, a los 84 días la producción era cercana a 3 t MS ha⁻¹. La estabilización del crecimiento entre los 56 y 70 días rebrote en otoño e invierno, está dada por la prefloración, tal como otros autores lo han mencionado^(11,13,27), quienes recomiendan cosechar el forraje entre los 50 y 60 días de rebrote, cuando su contenido de proteína y FDN son mayores. Lo anterior muestra que en las condiciones agroecológicas donde se realizó la investigación, otoño e invierno son las épocas con las condiciones óptimas para el crecimiento de *T. Diversifolia*. Esta menor producción de MS en primavera fue efecto de una menor precipitación pluvial y altas temperaturas (Figura 1), que incluso proviene desde invierno⁽²⁸⁾; los mismos autores recomiendan una frecuencia de corte de 60 días en época de lluvias y 80 días en época de secas. Otros⁽²⁹⁾, también recomiendan realizar el aprovechamiento de forraje de 45 a 60 días de reposo en época de lluvias y 70 a 90 días en la época poco lluviosa. Se considera en cortes de 70 a 90 días, una buena producción de MS y calidad nutritiva de la misma⁽²⁶⁾.

El ajuste al logístico de otoño e invierno y al exponencial de primavera obedecen 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 164.7 mm y de 74.6 mm, en primavera fue 112.7 mm con una temperatura de 22.4 en otoño, 20.6 en invierno y 27.3 en primavera; sin embargo, la precipitación en primavera fue mínima durante el año de evaluación, aunado a la más baja precipitación observada en el invierno, lo cual podría explicar la menor producción de MS.

La cantidad de materia seca en el presente estudio (9 t ha⁻¹ de MS para otoño e invierno) es similar a las 9.1 t ha⁻¹ con 20,000 plantas/ha y corte a 40 cm⁽³⁰⁾, pero menores a la informada por otros⁽³¹⁾, lo cual además de la menor precipitación recibida en el presente ensayo, también podría relacionarse con el uso de plantas jóvenes en primavera debido a que su siembra se realizó en julio de 2018, y a esta edad tienen menor cantidad de ramas y consecuentemente menor rendimiento de materia seca total, además de la disponibilidad de precipitación pluvial recibida.

En Colombia, la producción fue de aproximadamente 30 a 70 t ha⁻¹ por corte de forraje verde, dependiendo de la densidad de siembra, suelos y estado vegetativo⁽³²⁾. Por otro lado, citan una producción anual de 13.52 t MS ha⁻¹ anual, con diferencias significativas entre el periodo lluvioso (9.1 t MS ha⁻¹ anual) y el periodo menos lluvioso (4.42 t MS ha⁻¹ anual)⁽²⁵⁾. Otros autores⁽⁷⁾ mencionan que, si los cortes se realizan a menor edad, por ejemplo, entre 30 y 60 días de rebrote la producción de MS es mayor a la que se obtuvo con cortes a 90 y 110 días de edad de la planta⁽²⁵⁾. El rendimiento de 3 t MS ha⁻¹ en primavera, es menor a las 3.5 t MS ha⁻¹ a los 60 días de edad reportada⁽²⁸⁾ en época seca, y a las 4.42 t MS ha⁻¹ anual⁽²⁵⁾.

Componentes morfológicos de la biomasa

Aunque el cambio en RMS de hojas fue curvilíneo, la tendencia fue a un decremento de hojas en el tiempo (Figura 2; Cuadro 3), con un ligero incremento hacia el final de la primavera; esto se debe a que las plantas experimentan un segundo periodo de crecimiento con la presencia de lluvias en las últimas cosechas, en el mes de junio normalmente se registra la presencia de las primeras lluvias de la temporada.

El efecto de la edad en la cantidad de tallos que varía entre épocas es razonable y se explica primeramente por la edad de las plantas, ya que a medida que las plantas crecen la proporción hoja-tallo disminuye, las plantas acumulan más tallo como estructura de soporte; este hecho puede variar entre las épocas por efecto de las variables climáticas, principalmente de la precipitación pluvial que induce un crecimiento rápido y proporcional entre hojas y tallos, mientras que en el estiaje primavera e invierno (época con temperaturas más bajas) las plantas pueden limitar el crecimiento de hojas o presentar senescencia de hojas disminuyendo la relación hoja:tallo⁽³³⁾.

La tendencia en la aparición de materia muerta es esperada a edades mayores de las plantas lo cual es natural, pero también puede haber disminución de este material en el transcurso del periodo de crecimiento porque las hojas senescentes se desprenden o porque hay repuntes de crecimiento que cambian las relaciones entre los componentes de las plantas^(29,34). Como se observa con la disminución de hoja en otoño hasta los 56 días y con el incremento de tallo a la misma edad.

La presencia de flores se observó desde los 42 a 70 días de rebrote en otoño, este incremento observado al inicio de otoño y decremento al final de la misma época, se asocian con la disminución de la temperatura al inicio y final de otoño, respectivamente y que continua en el invierno, similares resultados reportan otros autores^(11,13,34). Así como también se reporta un ligero decremento a mayor edad de rebrote en primavera y otoño asociado a un aumento de la temperatura⁽²⁵⁾. La capacidad forrajera de *Tithonia diversifolia* y su calidad nutricional, están determinados entre otros factores por el estado fenológico⁽³⁴⁾, sin embargo, al evaluar el corte de *T. diversifolia* en distintos estados fenológicos (pre-floración, floración y después de la floración), se ha reportado, que los rendimientos son más altos, después de la floración⁽³⁵⁾.

Por lo anterior, se recomienda 42 días como momento más adecuado para cosechar el forraje durante el otoño, sin causar daño al cultivo en el estado de prefloración y con mayor preferencia por los ovinos Pelibuey. Asimismo, la presencia de flores observada en otoño a partir del día 42, coincide con lo indicado en otros estudios^(29,36).

Algunos autores sugieren el corte de 50 días con una producción de biomasa verde de 3.5 t MS ha⁻¹ (13,25,29). Sin embargo, otros autores recomiendan, a los 60 días con 7.2 t MS ha⁻¹ año^(7,28) o 70 días⁽³⁶⁾, en cambio, en ramoneo la recuperación de la planta requiere periodos más prolongados, 60 a 90 días según el clima^(29,30). Aunque, opuesto a la

cantidad de hojas en el tiempo, la cantidad de tallos tiende a incrementarse con el aumento de la edad de rebrote^(11,24); todos los incrementos en rendimiento son diferentes entre las épocas, excepto la similitud del efecto lineal entre invierno y primavera.

Se puede observar 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 es que el corte se realice en prefloración o inicio de floración^(34,35).

Composición química

El contenido de PC aumentó en forma lineal a medida que aumento la edad de corte, estos datos son similares a los reportados en Cuba al estudiar 29 materiales de *T. diversifolia*⁽²⁶⁾. Se ha encontrado 14.1 % PC a 56 días de rebrote en planta completa⁽¹⁰⁾, y también 29.79 y 17.27 % PC, a 30 y 60 días de edad, respectivamente⁽⁷⁾.

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 cultivares de *T. diversifolia*⁽²⁶⁾ y los de FDA (14.8 a 18.92 %) son ligeramente menores a los del presente ensayo. Se han reportado valores elevados de FDN (53.81 %) y FDA (48.18 %)⁽¹⁰⁾ entre otros⁽³⁶⁾, pero se realizaron con planta completa, 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 del *T. diversifolia* del presente ensayo es menor al compararlo con lo reportado en *Digitaria eriantha*⁽³⁷⁾, y similar al reportado en *Leucaena leucocephala*⁽³⁸⁾ bajo pastoreo. El contenido de FDN y FDA registrados, puede explicar por qué *T. diversifolia* es una planta con alto porcentaje de degradabilidad que la hace muy apetecible por los ovinos⁽³⁶⁾. El porcentaje de FDA y lignina muestra tendencia a incremento a los 56 días en otoño e invierno y decremento durante la primavera, esto podría relacionarse con la presencia de floración en el otoño, mientras que en invierno además tenga efecto la disminución de humedad y baja de temperatura.

Preferencia de *Tithonia diversifolia* por ovinos

Los ovinos prefirieron el forraje de 42 días de edad, seguido por el de 56 y el de 70 días, lo que indica que a mayor edad menor consumo; esto puede deberse a una mejor calidad nutricia a los 42 días, por su mayor contenido de PC y menor contenido de fibra como también ya se ha reportado⁽²³⁾, además que a menor edad de la planta la proporción de hoja es mayor y los tallos más tiernos, lo que genera una relación hoja-tallo mayor⁽³⁸⁾. Después del día 5, el consumo fue mayor y se mantuvo sin grandes fluctuaciones en las tres edades del follaje. Lo anterior, confirma la observación de que los ovinos requieren de 6 a 8 días para estabilizar su consumo de *T. diversifolia*⁽²³⁾.

La tendencia en la interacción (edad x día) de 42 días de rebrote en el día 4 de la prueba, podría ser debido a diferentes factores como la edad de la planta, pero también de la

época⁽³⁹⁾ y del suelo donde se encuentra la planta cosechada, como se reporta en *T. diversifolia* y *Gliricidia sepium*⁽⁴⁰⁾.

Conclusiones e implicaciones

El rendimiento de materia seca y la calidad nutritiva de *T. diversifolia* difiere según la época del año, es mayor en otoño e invierno que en primavera, por lo cual, bajo las condiciones agroecológicas que imperan en la zona, se recomienda utilizar el follaje a los 42 días de rebrote en otoño, a los 70 días en invierno y después de los 84 días en primavera. Los ovinos consumen el follaje de esta especie a cualquier edad ofrecida entre 42 y 84 días de edad, sin embargo, ellos prefieren el follaje más joven que tiene mayor calidad nutritiva. La cosecha de plantas a los 42 días para satisfacer la preferencia de los ovinos implica sacrificar el rendimiento de biomasa a una edad tan 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. El rendimiento potencial, el alto valor nutritivo y la preferencia mostrada por los ovinos, hacen que esta planta tenga un alto potencial forrajero para la alimentación de esta especie y otros rumiantes en condiciones tropicales. Es necesaria una mayor profundización en la investigación de *T. diversifolia* para evaluar diferentes densidades de plantación en las épocas climáticas que se presentan y su relación con el rendimiento, calidad nutricional, respuesta animal y al ambiente.

Agradecimientos y conflicto de interés

Los autores manifiestan no tener conflicto de intereses de ningún tipo.

Literatura citada:

1. Góngora-Pérez RD, Góngora-González FS, Magaña-Magaña AM, Lara PEL. Caracterización técnica y socioeconómica de la producción ovina en el estado de Yucatán, México. *Agron Mesoam* 2010;(21):131-144.
2. Ramírez-Rivera U, Sanginés-García JR, Escobedo-Mex JG, Cen-Chuc F, Rivera-Lorca JA, Lara-Lara PE. Effect of diet inclusion of *Tithonia diversifolia* on feed intake, digestibility and nitrogen balance in tropical sheep. *Agrofor Syst* 2010;(80):295-302.
3. Archimède A, Eugène M, Marie-Magdeleine C, Boval M, Martín C. Comparison of methane production between C₃ and C₄ grasses and legumes. *Anim Feed Sci Technol* 2011;(166-167):59-64.
4. Sanginés-García JR, Ku-Vera CJ, González-Valencia C, Ramón-Ugalde PJ. Ewe production in a pasture of star Grass (*Cynodon nlenfuensis*) fertilized with swine lagoon effluent. *Small Ruminant Res* 2003;(49):135-139.

5. Izaguirre F, Martínez TJJ, Jiménez FJO, Posada CS, García CCG, Martínez PC. Respuesta reproductiva y productiva de borregas Pelibuey a la suplementación con hojas de Caulote (*Guazuma ulmifolia*), Guaje (*Leucaena leucocephala*) y Yaite (*Gliricidia sepium*) en condiciones de trópico húmedo. *Livest Res Rural Dev* 2011;23(10):1-10.
6. Castañeda-Serrano RD, Piñeros-Varón R, Vélez-Giraldo A. Foliage of tropical arboreal species in feedenig ovines (*Ovis aries*): Intake, digestibility and balance nitrogen. *Biol Scient Mus Hist Nat Univ Caldas* 2018;22(1):58-68.
7. Lezcano Y, Soca M, Ojeda F, Roque E, Fontes D, Montejo IL, Santana H, Martínez J, Cubillas N. Caracterización bromatológica de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray en dos etapas de su ciclo fisiológico. *Pastos y Forrajes* 2012;(35):275-282.
8. Molina IC, Donney's GC, Montoya S, Rivera JE, Villegas G, Chará J, Barahona R. La inclusión de *Leucaena leucocephala* reduce la producción de metano de terneras Lucerna alimentadas con *Cynodon plectostachyus* y *Megathyrsus maximus*. *Livest Res Rural Dev* 2015;27(5):96.
9. Sandoval-Pelcastre AA, Ramírez-Mella MN, Rodríguez-Ávila NL, Candelaria-Martínez B. Árboles y arbustos tropicales con potencial para disminuir la producción de metano en rumiantes. Revisión. *Trop Subtrop Agroecosyst* 2020;23(33):1-16.
10. Gallego-Castro LA, Mahecha-Ledesma L, Angulo-Arizala J. Calidad nutricional de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray bajo tres sistemas de siembra en el trópico alto. *Agron Mesoam* 2017;28(1):213-222.
11. Verdecia DM, Ramírez JL, Leonard I, Álvarez Y, Bazán Y, Bodas R, Andrés S, Álvarez J, Giráldez F, López S. Calidad de la *Tithonia diversifolia* en una zona del Valle del Cauco. *Rev Electrón Vet* 2011;12(5):1-13.
12. Botero-Londoño JM, Gómez-Carabalí A, Botero-Lodoño MA. Yield, agronomic parameters and nutritional quality of *Tithonia diversifolia* in response to different fertilization levels. *Rev Mex Cienc Pecu* 2019;10(3):789-800.
13. Mejía-Díaz E, Mahecha-Ledesma L, Angulo-Arizala J. *Thitonia diversifolia* especie para ramoneo en sistemas silvopastoriles y métodos para estimar su consumo. *Agron Mesoam* 2017;28(1):289-302.
14. La OO, González H, Orozco A, Castillo Y, Ruíz O, Estrada A, Castro B. Composición química, degradabilidad *in situ* y digestibilidad *in vitro* de ecotipos de *T. diversifolia* de interés para la alimentación de rumiantes. *Rev Cuba Cienc Agríc* 2012;46(1):47-53.
15. Cardona-Iglesias JL, Mahecha-Ledesma L, Angulo-Arizala J. Arbustivas forrajeras y ácidos grasos: estrategias para disminuir la producción de metano entérico en bovinos. *Agron Mesoam* 2016;28(1):273-288.

16. Rivera JE, Chará J, Gómez-Leyva JF, Ruíz T, Barahona R. Variabilidad fenotípica y composición fitoquímica de *Tithonia diversifolia* A. Gray para la producción animal sostenible. *Livest Res Rural Dev* 2018;(30):200.
17. González-Castillo JC, von-Hessberg CMH, Narvaéz-Solarte W. Características botánicas de *T. diversifolia* (Asterales : asterácea) y su uso en la alimentación animal. *Bol Cient Mus His Nat* 2014;18(2):45-58.
18. Gómez-Gurrola A, Del Sol García G, Sanginés-García L, Loya-Olguín L, Benítez-Meza A, Hernández-Ballesteros A. Rendimiento en canal de corderos de pelo, alimentados con diferentes proporciones de *Tithonia diversifolia* y *Pennisetum spp.* *Ábanico Veterinario* 2017;7(2):34-42.
19. Olabode OS, Sola O, Akanbi WB, Adesina GO, Babajide PA. Evaluation of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray for soil improvement. *World J Agr Sci* 2007;3(4):503-507.
20. Argüello-Rangel J, Mahecha-Ledezma L, Angulo-Arizala J. Arbustivas forrajeras: importancia en las ganaderías de trópico bajo Colombiano. *Agron Mesoam* 2019;30(3):899-915.
21. García E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Kööpen. 4a. ed. México: Ed. Limusa; 1987.
22. A.O.A.C. Official Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemists. 12 th ed. Published by the Association of Official Agricultural Chemists. Washington, D.C. 1975.
23. García DE, Medina MG, Clavero T, Humbría J, Baldizán A, Domínguez C. Preferencia de árboles forrajeros por cabras en la zona baja de los andes Venezolanos. *Rev Cient FCV LUZ* 2008;(18):549-555.
24. Navas-Panadero N, Montaña V. Comportamiento de *Tithonia diversifolia* bajo condiciones de bosque húmedo tropical. *Rev Invest Vet Perú* 2019;30(2):721-732.
25. Castillo-Mestre R, Betancourt-Bagué T, Toral-Pérez OC, Iglesias-Gómez JM. Influencia de diferentes marcos de plantación en el establecimiento y la producción de *Tithonia diversifolia*. *Pastos y Forrajes* 2016;39(2):89-93.
26. Ruíz TE, Alonso J, Febles GJ, Galindo JL, Savón LL, Chongo BB, Torres V, Martínez Y, La OO, Gutiérrez D, Crespo GJ, Cino DM, Scull I, González J. *Tithonia diversifolia*: I. Estudio integral de diferentes materiales para conocer su potencial de producción de biomasa y calidad nutritiva. *Avances en Investigación Agropecuaria* 2016;20(3):63-82.
27. Partey TS. Effect of pruning frequency and pruning heighth on the biomass production of *Tithonia diversifolia* (Helms.) A. Gray. *Agrofor Syst* 2011;(83):181-187.

28. Ruíz TE, Febles G, Díaz H. Distancia de plantación, frecuencia y altura de corte en la producción de biomasa de *Tithonia diversifolia* colecta 10 durante el año. Rev Cub Cienc Agríc 2012;46(4):423-426.
29. Alonso J, Achan G, Santos LDT, Sampaio RA. Comportamiento productivo de *Tithonia diversifolia* en pastoreo con reposos diferentes en ambas épocas del año. Livest Res Rural Dev 2015;27(6):Article 15.
30. Holguín S, Ortiz A, Velasco A, Mora J. Evaluación multicriterio de 44 introducciones de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray en Candelaria, Valle del Cauca. Rev Med Vet Zootec 2015;62(2):57-72.
31. Alonso J, Ruíz T, Achang G, Santos L, Sampaio R. Producción de biomasa y comportamiento animal en pastoreo con *Tithonia diversifolia* a diferentes distancias de plantación. Livest Res Rural Dev 2012;(24):Article1#60. <http://www.Irrd.org/Irrd24/9/lazo24160.htm>
32. Ríos CI, Salazar A. Botón de oro (*Tithonia diversifolia* Hemsl Gray) una fuente proteica alternativa para el trópico. Livest Res Rural Dev 1995;6(3):Article #25.
33. Buchanam-Wollaston V, Earl S, Harrison E, Mathas E, Navabpour S, Pague T, Pink D. Review. The molecular analysis of leaf senescence –a genomics approach. Plant Biotech J 2003;(1):3-22.
34. Londoño CJ, Mahecha LL, Angulo AJ. Desempeño agronómico y valor nutritivo de *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A Gray para la alimentación de bovinos. Rev Colombiana Cienc Anim 2019;11(1).
35. De Souza, OFJ. 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. 2007.
36. Zavala Y, Rodríguez JC, Cerrato M. Concentración de carbono y nitrógeno a seis frecuencias de poda en *Tithonia diversifolia* y *Morus alba*. Tierra Tropical 2007;3(2):149-159.
37. Azuara-Morales I, López-Ortiz S, Jarillo-Rodríguez J, Pérez-Hernández P, Ortega-Jiménez E, Castillo-Gallegos E. Forage availability in a silvopastoral system having different densities of *Leucaena leucocephala* under Voisin grazing management. Agrofor Syst 2020;(20):1-11.
38. García-Ferrer L, Bolaños-Aguilar ED, Ramos-Juárez J, Arce MO, Lagunes-Espinoza LC. Rendimiento y valor nutritivo de leguminosas forrajeras en dos épocas del año y cuatro edades de rebrote. Rev Mex Cienc Pecu 2015;6(4):453-468.

39. Cabrera-Carrión JL, Jaramillo-Jaramiillo C, Dután-Torres F, Cun-Carrión J, García PA, Rojas de Astudillo L. Variación del contenido de alcaloides, fenoles, flavonoides y taninos en *Moringa oleífera* Lam. en función de su edad y altura. *Bioagro* 2017;29(1):53-60.
40. Santacoloma VLE, Granados JE. Interrelación entre el contenido de metabolitos secundarios de las especies *Gliricidia Sepium* y *Tithonia diversifolia* y algunas propiedades fisicoquímicas del suelo. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 2012;3(1):53-62.