

Edad de rebrote de *Erythrina americana* Miller y concentración de compuestos fenólicos en el follaje

Regrowth age of *Erythrina americana* Miller and concentration of phenolic compounds in the foliage

Diana Fabiola Hernández-Espinoza¹, Luz del Carmen Lagunes-Espinoza¹, María Aurelia López-Herrera², Jesús Alberto Ramos-Juárez¹, Roberto González-Garduño³ y Jorge Oliva-Hernández^{4*}

¹Colegio de Postgraduados. Campus Tabasco. Posgrado en Producción Agroalimentaria en el Trópico. Tabasco, México.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Mocochoá. Yucatán, México.

³Universidad Autónoma Chapingo. Unidad Regional Universitaria Sursureste. Tabasco, México.

⁴Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Huimanguillo. Tabasco, México.

*Autor de correspondencia. olivajh20@yahoo.com.mx

Resumen

El follaje de algunos árboles puede utilizarse en la alimentación de pequeños rumiantes, cuando la calidad química y contenido de metabolitos secundarios son adecuados. El uso de *Erythrina*

americana como alimento, requiere del conocimiento de su composición nutricional a diferentes edades de rebrote. El objetivo del estudio fue determinar la influencia de la edad de rebrote de *E. americana* en el contenido de compuestos fenólicos y composición química del follaje, a partir de 24 árboles que forman parte de los cercos vivos de una explotación ovina. Se utilizó un diseño completamente al azar, el factor fijo fue la edad de rebrote de *E. americana* (60 días, 90 días y 120 días). Las variables dependientes fueron: materia seca, proteína cruda, cenizas, materia orgánica, fibra detergente neutro, fibra detergente ácido, polifenoles totales, fenoles no taninos, taninos condensados, taninos hidrolizables y taninos totales. La edad de rebrote afectó ($P < 0.05$) el contenido de proteína cruda, carbohidratos estructurales, polifenoles totales y taninos (condensados, hidrolizables y totales), el resto de las variables no fueron afectadas ($P > 0.05$). A los 90 días se detectó el mayor contenido de proteína cruda. El menor contenido de carbohidratos estructurales se presentó entre 90 días y 120 días. Conforme se incrementó la edad de rebrote aumentó la concentración de taninos condensados. Los contenidos de proteína cruda, carbohidratos estructurales y taninos condensados en el follaje de *E. americana*, a una edad de rebrote de 90 días, permiten considerarlo como alimento complementario para pequeños rumiantes.

Palabras clave: cerco vivo; leguminosa; ovinos; proantocianidinas; trópico húmedo.

Abstract

The foliage of some trees can be used for feeding small ruminants, when the chemical quality and the content of secondary metabolites are suitable. The use of *Erythrina americana* as feed requires knowledge of its nutritional composition at different regrowth ages. The objective of the study was to determine the influence of the regrowth age of *E. americana* on the content of

phenolic compounds and chemical composition of the foliage, from 24 trees that are part of the live fences of a sheep farm. A completely randomized design was used; the fixed factor was the regrowth age of *E. americana* (60 days, 90 days and 120 days). The response variables were: dry matter, crude protein, ash, organic matter, neutral detergent fiber, acid detergent fiber, total polyphenols, non-tannin phenols, condensed tannins, hydrolysable tannins and total tannins. The regrowth age affected ($P < 0.05$) the content of crude protein, structural carbohydrates, total polyphenols and tannins (condensed, hydrolysable and total); the rest of the variables was not affected ($P > 0.05$). At 90 days, the highest crude protein content was detected. The lowest structural carbohydrates content was between 90 days and 120 days. As the regrowth age increased, a higher condensed tannins concentration was detected. Crude protein, condensed tannins and structural carbohydrates in foliage of *E. americana*, at an age of regrowth of 90 days, allow to consider it as a complementary food for small ruminants.

Keywords: live fence; legume; sheep; proanthocyanidins; humid tropic.

Introducción

Erythrina americana es una leguminosa arbórea de la familia Fabaceae que se utiliza como parte de los cercos vivos que limita una pradera en las unidades de producción pecuaria localizadas en la región tropical (Llera Zavala y Méndez Nava, 1994; Grande Cano, Villanueva López, Maldonado García y Hernández Daumás, 2013). El follaje de *E. americana* es de importancia en la alimentación de pequeños rumiantes, debido a que representa una fuente de carbohidratos estructurales y de proteína cruda. El follaje de esta planta tiene alta aceptación y palatabilidad, por lo que es consumido con facilidad por los ovinos y puede incluirse en la dieta de estos hasta en 30% sin que se afecte el estado de salud de los animales (Grande Cano, 2010; Best *et al.*,

2017). En adición, esta leguminosa puede producir follaje todo el año cuando es sometida a un proceso de poda controlada (Meléndez Nava, 2003), lo que representa una gran ventaja en la alimentación de rumiantes por la disponibilidad y calidad nutricional de la planta.

Estudios previos en *E. americana*, indican que la edad de rebrote del follaje afecta su rendimiento de materia seca (MS), encontrándose el mayor rendimiento de MS a una edad de rebrote de 90 días y 120 días (Meléndez Nava, 2003). Sin embargo, se desconoce la influencia de la edad de rebrote sobre la composición química, contenido de polifenoles y de taninos en el follaje. Los taninos son metabolitos secundarios de las plantas, su presencia en el follaje ha despertado interés en la alimentación de rumiantes debido a su capacidad de unirse y precipitar proteínas solubles y carbohidratos, situación que pudiera representar una ventaja al proteger a la proteína de la degradación ruminal, siempre y cuando la proteína sea liberada para su degradación en el abomaso e intestino delgado (Frutos, Hervás, Giráldez y Mantecón, 2004; Naumann, Tedeschi, Zeller y Huntley, 2017) y la concentración de estos metabolitos no excedan los 50 g kg⁻¹ de MS (Li, Tanner y Larkin, 1996). Particularmente, en las hojas de *E. goldmanii* se ha detectado la presencia de fenoles totales (6 g kg⁻¹ MS) y taninos condensados, 16.3 g kg⁻¹ MS, (Pinto, Ramírez, Ku Vera y Ortega, 2002; Pinto *et al.*, 2003). Además, en rumiantes existen evidencias que indican que el consumo de follaje con taninos condensados puede contribuir a controlar a los nematodos gastrointestinales (Hoste *et al.*, 2015; Borges y Borges, 2016).

Objetivos

El objetivo del estudio fue determinar la influencia de la edad de rebrote de *E. americana* sobre el contenido de compuestos fenólicos y la composición química en el follaje.

Materiales y métodos

Localización

El estudio se realizó durante el período de noviembre de 2016 a marzo de 2017 en la Unidad Experimental Ovina del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (Inifap), localizada en el municipio de Huimanguillo, Tabasco, México (17° 50' LN, 93° 23' LO), con clima cálido húmedo, lluvias todo el año (Af) y temperatura ambiente media anual de 27.8 °C (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi], 2017).

Árboles, poda y follaje

Se utilizaron 24 árboles de *E. americana* que forman parte del cerco perimetral de las praderas manejadas para el pastoreo de ovinos. Los árboles tenían en promedio (\pm DE) 1.6 m \pm 0.1 m de altura, una distancia entre árboles de 1.0 m \pm 0.3 m y un diámetro a los 0.2 m y 1.3 m de altura del suelo de 5.8 cm \pm 1.4 cm y 4.1 cm \pm 1.0 cm, respectivamente. Los árboles se podaron antes de iniciar el estudio con el fin de obtener uniformidad en la edad de rebrote. La poda se realizó con pinzas de podar e implicó el corte de todas las ramas.

Edad de rebrote

Las edades de rebrote del follaje estudiadas fueron 60 días, 90 días y 120 días. Los días de las edades del rebrote se contaron a partir del corte de uniformidad aplicado el 21 de noviembre de 2016.

Composición química del follaje

En cada edad de rebrote se obtuvieron cuatro muestras compuestas de follaje (hojas y peciolo sin incluir tallos tiernos). Cada muestra compuesta estuvo formada por el follaje de dos árboles. Las muestras se secaron a 50 °C. Posteriormente, el material fue molido en un molino (Thomas-

Wiley®) con malla de 1 mm. Se determinó por duplicado MS, cenizas, materia orgánica y proteína cruda con métodos de la AOAC (Latimer Jr., 2012); fracciones de fibra detergente neutro y fibra detergente ácido con las técnicas de Van Soest, Robertson y Lewis (1991).

Compuestos fenólicos

Para la determinación de la concentración de compuestos fenólicos se utilizaron seis árboles por edad de rebrote. Cada árbol se consideró una repetición. El follaje de cada árbol, por edad de rebrote, se secó a 50 °C, se trituró, pasó a través de una malla de 1 mm, en molino Wiley, y se conservó en oscuridad a 4 °C hasta el análisis. Las variables evaluadas fueron las concentraciones de polifenoles totales, fenoles no taninos, taninos condensados, hidrolizables y totales. Todos los análisis en el laboratorio se realizaron por triplicado.

Polifenoles totales. Las muestras se desengrasaron con éter de petróleo (Múzquiz, Burbano, Cuadrado y De la Cuadra, 1993). Los polifenoles se determinaron con el método de Folin-Ciocalteu, y ácido gálico como estándar en muestras libres de grasa. La absorbancia se midió a 765 nm en un espectrómetro (Thermoelectron, Genesys 10 UV) usando ácido gálico (0.5 mg mL⁻¹) para preparación de estándares (Makkar, Blummel, Borowy y Becker, 1993).

Fenoles no taninos. A las muestras libres de grasa se les adicionó polivinilpirrolidona para separar fenoles taninos de los fenoles no taninos, después de agitarlas en vórtex se incubaron por 15 min en oscuridad a 4 °C y se centrifugaron (10 000 rpm) a 25 °C por 10 min (Makkar *et al.*, 1993). En el sobrenadante se cuantificó la concentración de fenoles no taninos con el reactivo de Folin-Dennis a 725 nm. Los estándares se prepararon a partir de una solución estándar de 0.5 mg mL⁻¹ de ácido gálico.

Taninos condensados (proantocianidinas). Para cuantificar los taninos condensados, muestras libres de grasa se extrajeron con metanol al 80%; a 500 µL de ese extracto se le agregaron 3 mL

de butanol: HCl (95:5, v/v) y 100 μ L de reactivo férrico (sulfato de amonio férrico a una concentración de 2% en HCl 2 N), se cubrieron y mantuvieron en baño María a ebullición por 60 min y se dejaron enfriar a temperatura ambiente. Un blanco preparado con butanol: HCl y sin calentar se incluyó (Porter, Hrstich y Chan, 1985). La absorbancia se midió a 550 nm. La concentración de taninos condensados se calculó como leucocianidina equivalente con la ecuación:

$$TC = \frac{(A_{550nm} \times 78.26 \times \text{Factor de dilución})}{MS (\%)}$$

Donde:

TC = Taninos condensados (g kg^{-1} MS)

A = Absorbancia (nm)

78.26 = factor de corrección

MS = materia seca (%)

El coeficiente extinción molar (E 1%, 1 cm, 550 nm) de leucocianidinas es de 460.

Taninos totales e hidrolizables. Los taninos totales se calcularon de la diferencia de fenoles no taninos con polifenoles totales. Los hidrolizables fueron estimados como la diferencia de taninos totales y condensados (Singh, Sahoo, Sharma y Bhat, 2005; Rana, Wadhwa y Bakshi, 2006).

Condiciones climáticas

Se consultaron los registros climáticos de la estación meteorológica de la Comisión Nacional del Agua [Conagua] (2017) localizada en el Campo Experimental Huimanguillo, Inifap. Con los datos climáticos se determinó el promedio en la temperatura ambiente (mínima, media y

máxima, °C), humedad relativa (mínima, media y máxima, %), la precipitación pluvial acumulada (mm) y la radiación solar (Wm^{-2}) desde la fecha de corte de uniformidad hasta la duración de la edad de rebrote.

Diseño experimental y análisis estadístico

Todos los análisis se efectuaron con el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS, 2002). Las variables dependientes fueron: proteína cruda (%), MS (%), cenizas (%), materia orgánica (%), fibra detergente neutro (%) y fibra detergente ácido (%), polifenoles totales (g kg^{-1} de MS), fenoles no taninos (g kg^{-1} de MS), taninos condensados (g kg^{-1} de MS), hidrolizables (g kg^{-1} de MS) y totales (g kg^{-1} de MS). A los datos se les aplicó la prueba de Shapiro-Wilk's para probar que tuvieran una distribución normal y la prueba de Levene para probar la homogeneidad de las varianzas. Para el análisis de los datos se utilizó un modelo de efectos fijos, en donde el factor fue la edad de rebrote del follaje. En los datos de composición química del follaje la unidad experimental fue la muestra compuesta de follaje. Se utilizaron cuatro unidades experimentales por edad de rebrote. En los datos de fenoles y sus fracciones la unidad experimental fue el árbol. Se utilizaron seis unidades experimentales por edad de rebrote. Los análisis se realizaron con el procedimiento ANOVA. Las medias se compararon con la prueba de Tukey. Los valores de las medias se consideraron estadísticamente significativos cuando $P < 0.05$. La variable fenoles no taninos no tuvo varianza homogénea y los taninos hidrolizables no mostraron una distribución normal por lo que se analizaron con la prueba de Kruskal-Wallis. Cuando se detectó influencia ($P < 0.05$) de la edad de rebrote sobre la variable de respuesta, se aplicó el test de la suma de rangos de Wilcoxon para datos no pareados (Milton, 2007).

Resultados

En las figuras 1 y 2 se describen los valores de temperatura ambiente, humedad relativa, precipitación pluvial y radiación solar durante el período de estudio. El promedio de temperatura ambiente fue similar durante el período de estudio. Sin embargo, la temperatura ambiente mínima disminuyó en 1.3 °C y la máxima aumentó en 2.5 °C, cuando las edades de rebrote fueron 90 días y 120 días con relación a lo detectado en 60 días. A estas edades de rebrote (90 días y 120 días), la humedad relativa promedio y mínima también disminuyeron con relación a lo registrado a los 60 días de iniciado el estudio. La oscilación en la temperatura ambiente y humedad relativa fue mayor en las edades de rebrote 90 días y 120 días con respecto a 60 días. La precipitación pluvial acumulada en las edades 90 días y 120 días representaron 147.2% y 184.5%, respectivamente de la precipitación pluvial registrada a los 60 días.

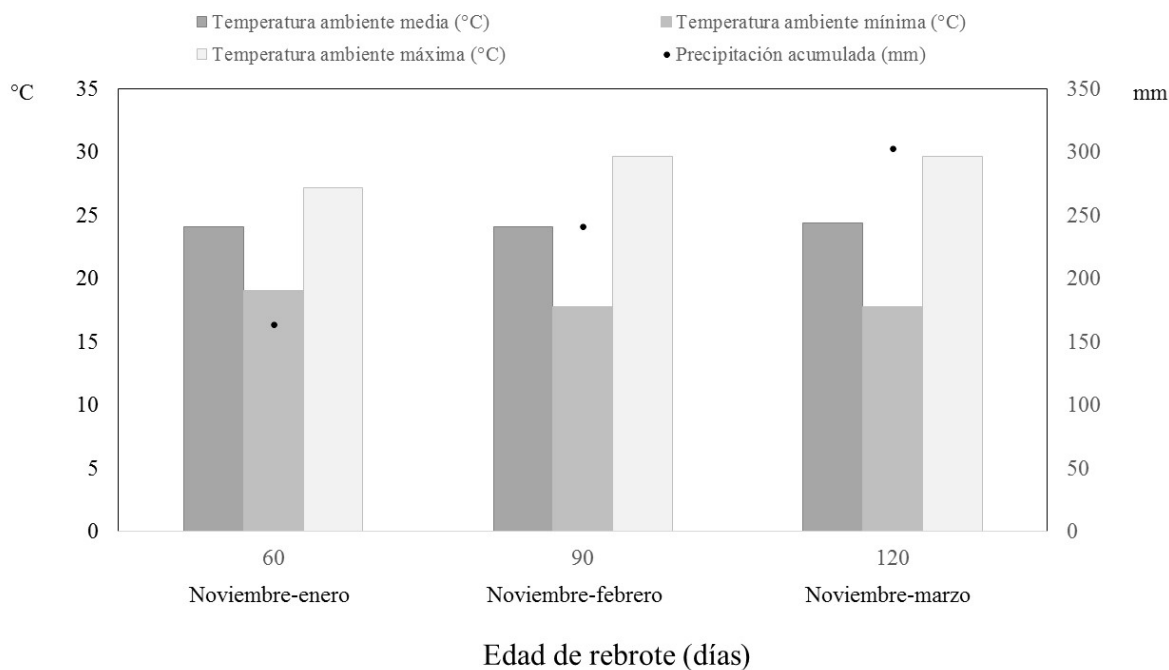


Figura 1. Temperatura ambiente (°C) y precipitación pluvial acumulada (mm) durante el período de estudio considerando la duración de la edad de rebrote.

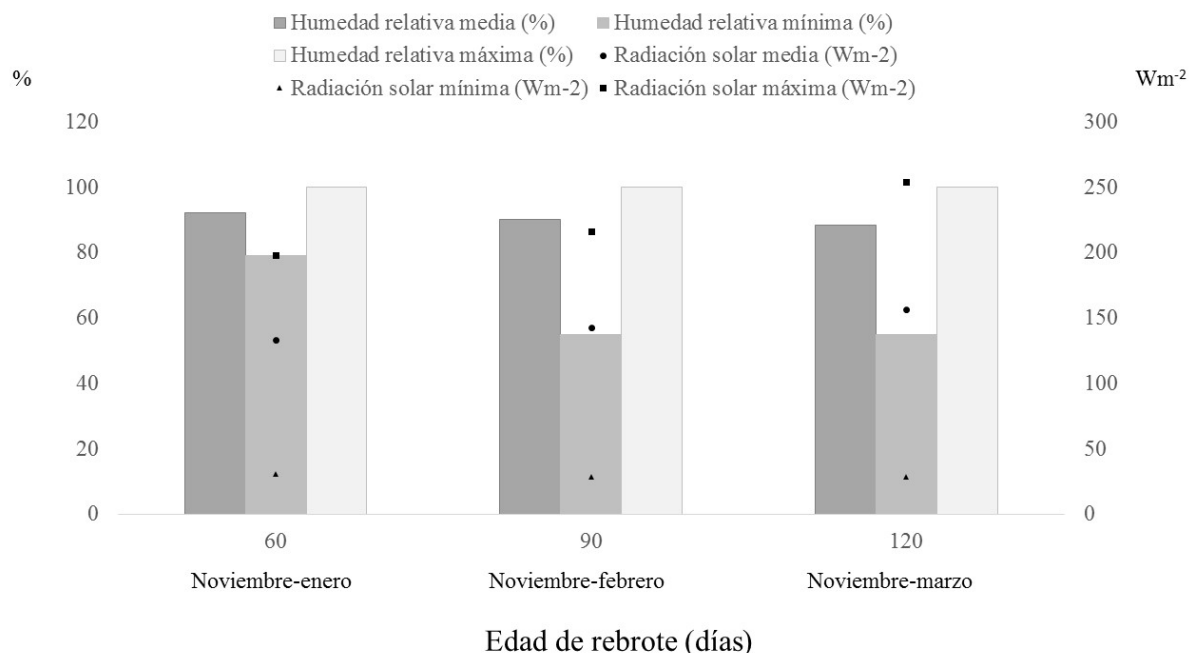


Figura 2. Humedad relativa (%) y radiación solar (Wm^{-2}) durante el período de estudio considerando la duración de la edad de rebrote.

Los promedios generales (\pm DE) de proteína cruda, fibra detergente neutro, fibra detergente ácido, MS, cenizas y materia orgánica fueron: $16.2\% \pm 1.0\%$, $59.3\% \pm 7.5\%$, $41.3\% \pm 7.8\%$, $27.6\% \pm 3.9\%$, $8.4\% \pm 0.7\%$, $91.6\% \pm 0.7\%$, respectivamente. Bajo las condiciones ambientales en las que se desarrolló el estudio, la edad de rebrote afectó ($P < 0.01$) los contenidos de proteína cruda, fibra detergente neutro y fibra detergente ácido. Sin embargo, los contenidos de MS, cenizas y materia orgánica del follaje no fueron influidos ($P > 0.05$) por la edad de rebrote (Tabla 1).

El mayor contenido de proteína cruda se presentó en la edad de rebrote de 90 días con respecto a 60 días y 120 días. Así mismo, no se detectaron diferencias ($P > 0.05$) en la proteína cruda del follaje en las edades de rebrote 60 días y 120 días (Tabla 2).

Tabla 1. Composición química del follaje de *Erythrina americana* en diferentes edades de rebrote.

Componente	Edad de rebrote (días)		
	60	90	120
Proteína cruda (%)	15.7 ^{b,1} ± 0.4	17.3 ^a ± 0.2	15.4 ^b ± 0.2
Fibra detergente neutra (%)	66.9 ^a ± 3.5	52.9 ^b ± 2.1	59.1 ^{ab} ± 2.7
Fibra detergente ácida (%)	50.4 ^a ± 3.5	37.2 ^b ± 1.2	36.2 ^b ± 0.5
Materia seca (%)	26.7 ± 2.9	26.2 ± 1.6	29.9 ± 0.3
Cenizas (%)	8.8 ± 1.0	8.0 ± 0.7	8.2 ± 0.3
Materia orgánica (%)	91.2 ± 1.0	92.0 ± 0.7	91.8 ± 0.3

^{a, b}, medias ± EE con letras diferentes dentro de la misma línea indican diferencias ($P < 0.01$).

¹, cada valor es el promedio de cuatro muestras compuestas por edad de rebrote.

El contenido de fibra detergente neutro fue menor ($P < 0.01$) en la edad de rebrote de 90 días con respecto a 60 días y la fibra detergente ácido fue menor ($P < 0.01$) a los 90 días y 120 días con relación a los 60 días.

Con excepción de los fenoles no taninos, el resto de las variables fueron afectadas ($P < 0.05$) por la edad de rebrote (Tabla 2). En el follaje con una edad de rebrote de 120 días se detectó la

mayor concentración de polifenoles totales, taninos condensados, hidrolizables y totales con respecto a 60 días y 90 días ($P < 0.05$).

Tabla 2. Fenoles y sus fracciones (g kg^{-1} de MS) en follaje de *Erythrina americana* en diferentes edades de rebrote

Componente	Edad de rebrote (días)		
	60	90	120
Polifenoles totales (g kg^{-1} de MS)	22.4 ^{b,1} \pm 1.3	20.7 ^b \pm 1.3	35.5 ^a \pm 2.9
Fenoles no taninos (g kg^{-1} de MS)	0.4 \pm 0.1	0.3 \pm 0.0	0.3 \pm 0.1
Taninos condensados (g kg^{-1} de MS)	9.7 ^b \pm 0.8	6.0 ^c \pm 1.0	14.2 ^a \pm 1.0
Taninos hidrolizables (g kg^{-1} de MS)	12.2 ^d \pm 1.6	14.5 ^d \pm 1.1	21.0 ^e \pm 2.1
Taninos totales (g kg^{-1} de MS)	21.9 ^b \pm 1.3	20.5 ^b \pm 1.3	35.2 ^a \pm 2.8

^{a, b, c}, medias \pm EE con letras diferentes dentro de la misma línea indican diferencias ($P < 0.01$).

^{d, e}, medias \pm EE con letras diferentes dentro de la misma línea indican diferencias ($P < 0.05$).

¹, cada valor es el promedio de seis repeticiones por edad de rebrote.

El contenido de taninos totales a los 60 días y 90 días representaron 62.3% y 58.1%, respectivamente, de los detectados a los 120 días. De manera similar a los taninos totales, los taninos hidrolizables a los 60 días y 90 días fueron 58.2% y 69.0%, respectivamente, de los registrados a los 120 días. Sin embargo, los taninos condensados a los 60 días y 90 días correspondieron 68.5% y 42.2%, respectivamente, de los cuantificados a los 120 días (Tabla 2).

Discusión

Condiciones climáticas

La temperatura ambiente máxima, oscilación térmica y radiación solar promedio incrementaron conforme avanzó el período de estudio, este tipo de cambios reflejan la transición entre el final de la época invernal con el inicio de la primavera. Estas fluctuaciones en las condiciones climáticas durante el desarrollo del estudio corresponden a las de la estación invernal en el estado de Tabasco (Moguel y Molina-Enríquez, 2000; García, 2004; Díaz Padilla, Ruíz Corral, Medina García, Cano García y Serrano Altamirano, 2006) y son consideradas como adecuadas para el crecimiento y desarrollo de *E. americana*. Esta especie se encuentra distribuida en climas cálidos húmedos, cálidos subhúmedos y cálidos secos, en tierras bajas y con alta elevación (1000-2100 msnm) (García-Mateos, Soto-Hernández y Vibrans, 2001; Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad [Conabio], 2017; Universidad Autónoma de la Ciudad de México [Uacm], 2017).

Composición química

El contenido de proteína cruda en el follaje resultó inferior a lo indicado por Grande Cano (2010), quien encontró 20.1% de proteína cruda en *Erythrina spp.* sin antecedentes de poda en la región de la Sierra, Tabasco. Sin embargo, en *E. americana* sin antecedentes de poda en suelos de tipo Fluvisols en Huimanguillo, Tabasco, el contenido de proteína cruda (14.5%) fue ligeramente inferior al registrado en el presente estudio (Palma *et al.*, 2017; Oliva Hernández, López Herrera, Velázquez Jiménez, López Enríquez y Vélez Pérez, 2019). Respecto a las diferencias encontradas en la proteína cruda, en las leguminosas arbóreas se ha encontrado variación atribuida a la especie, posición de la hoja en el tallo, parte de la planta, variación genética dentro de la misma especie, tipo de suelo y clima en el cual crecen (Wood, Stewart y Vargas, 1998; Carmona Agudelo, 2011).

Los valores de fibra detergente neutro y fibra detergente ácido en el follaje resultaron mayores a los indicados en follaje de *E. goldmanii* y *E. indica*, sin antecedentes de poda (Pinto *et al.*, 2002, 2003; Ayala Burgos, Capetillo Leal, Cetina Góngora, Zapata Campos y Zandoval Castro, 2006), aunque similares a los observados en follaje de *E. americana*, sin antecedentes de poda (Oliva Hernández *et al.*, 2019). En leguminosas forrajeras el contenido de carbohidratos estructurales es afectado por la edad de corte y la época del año, detectándose un incremento conforme aumenta la edad de corte y en casos específicos, como en *Stylosanthes guianensis*, el contenido de fibra detergente neutro no presenta cambios durante la sequía en diferentes edades de corte (García-Ferrer, Bolaños-Aguilar, Ramos-Juárez, Osorio y Lagunes-Espinoza, 2015). Sin embargo, en el follaje de *E. americana* no se observó un incremento lineal en el contenido de fibra detergente neutro y fibra detergente ácido conforme avanzó la edad de rebrote, debido tal vez a que la relación hoja peciolo disminuyó, lo que llevó a una mayor área foliar a los 90 días respecto a los 60 días.

En leguminosas tropicales de tipo herbáceo y arbustivo no se han detectado cambios en el contenido de fibra detergente neutro por influencia de la edad de corte (Mojica-Rodríguez, Castro-Rincón, Carulla-Formaguera y Lascano-Aguilar, 2017). No obstante, Juárez Lagunes, Montero Lagunes, Alpírez Mendoza, Contreras Jácome y Canudas Lara (2004) mencionan que en estas leguminosas el contenido de fibra detergente ácido se incrementa conforme avanza la edad de corte, lo cual puede estar asociado al proceso de lignificación de las hojas. Por otro lado, en las edades de rebrote de 120 días y 320 días, Choque Durand, Huaita Patiño, Cárdenas Villanueva y Ramos Zúñiga (2018) no detectaron cambios en el contenido de fibra detergente neutro y fibra detergente ácido en follaje de *Erythrina sp.* Al parecer, el contenido de carbohidratos estructurales en los follajes de especies arbustivas y arbóreas tiene mayor

estabilidad con respecto a la mayor parte de las gramíneas debido a que el proceso de lignificación ocurre principalmente en los tallos y no tanto en las hojas (Botero y Russo, 1999). En los follajes de *E. americana*, *goldmanii* e *indica*, sin antecedentes de poda, se ha detectado un mayor contenido de cenizas a los encontrados en el presente estudio (Pinto *et al.*, 2002; Ayala *et al.*, 2006; Oliva Hernández *et al.*, 2019), lo que puede deberse al efecto de la especie, condiciones edáficas o de manejo donde se desarrollan las especies. Adicionalmente, es probable que la variación en la composición química por edad de las hojas en árboles sin podar sea diferente a la de árboles sometidos a podas a intervalos controlados, lo que explicaría las diferencias en la composición química del follaje entre estudios.

Compuestos fenólicos

Desde el punto de vista de la estructura química, los polifenoles totales comprenden una serie compuestos como las cumarinas, flavonoides, lignina y taninos. Este tipo de compuestos están implicados en las interacciones planta-herbívoro y cumplen diversas funciones, tales como la protección y defensa de la planta frente a predadores y diferentes patógenos (Ávalos García y Pérez-Urria Carril, 2009). El contenido de polifenoles totales se incrementó con la edad de rebrote. Este incremento con la edad de rebrote se observa también en otras leguminosas (García-Ferrer *et al.*, 2015), y puede ser asociado a la fase de crecimiento de la planta (carbono disponible para sintetizar metabolitos secundarios basados en carbono) y a las condiciones ambientales que afectan la fotosíntesis (fuente de carbono) (Bryant, Chapin y Klein, 1983). Las plantas distribuyen más carbono hacia la formación de metabolitos secundarios basados en carbono (por ejemplo, los taninos condensados) cuando estas acumulan carbono en mayor cantidad a las demandas de crecimiento, esto es, durante períodos con baja disponibilidad de nutrientes, alta luminosidad y elevado CO₂ (Herms y Mattson, 1992; Massad, Dyer y Vega, 2012).

La diferencia en la tendencia del contenido de taninos condensados e hidrolizables en las hojas sugiere que el uso de sustratos en la ruta bioquímica de síntesis del tipo de tanino, condensados e hidrolizables, es influido por la edad de rebrote y probablemente por las condiciones climáticas que imperaron durante el estudio (Makkar, Dawra y Singh, 1991; Estiarte, De Castro y Espelta, 2007; Ávalos García y Pérez-Urria Carril, 2009).

E. americana es un árbol caducifolio que florece durante el inicio de la primavera (García-Mateos *et al.*, 2001), período del año en donde hay alta radiación solar (Fig. 2). Una alta luminosidad e inicio de la floración estimulan la síntesis de taninos condensados (Iason, Hartley y Duncan, 1993; Frutos *et al.*, 2004; Estiarte *et al.*, 2007). Además, Makkar *et al.* (1991) señalan que un incremento en la edad de madurez de las hojas corresponde con un mayor contenido de taninos condensados. La mayor edad de rebrote de las hojas y la época en que fue cosechado el follaje, transición entre las épocas de nortes y sequía (Fig. 1 y 2), pudieran explicar la mayor concentración de taninos condensados a los 120 días con respecto a 60 días y 90 días.

El contenido de taninos condensados detectado en las diferentes edades de rebrote estudiadas en *E. americana* se encuentra dentro de los valores registrados en follaje de *E. goldmanii* y resultó mayor al indicado en *E. indica*. Para estas dos especies de *Erythrina* no se estudió la edad de rebrote del follaje (Pinto *et al.*, 2003; Ayala Burgos *et al.*, 2006). En follaje de *Gliricidia sepium*, leguminosa arbórea de amplio uso en los cercos vivos de la ganadería localizada en el trópico de México (Enríquez Quiroz, Meléndez Nava, Bolaños Aguilar y Esqueda Esquivel, 2011; Grande Cano *et al.*, 2013), se ha encontrado un mayor contenido de taninos condensados (Romero Lara, Palma García y López, 2000) con respecto al detectado en *E. americana* en el presente estudio. Mientras que Pinto *et al.* (2002) señalan que el follaje de *E. goldmanii* contiene mayor cantidad de fenoles totales con respecto a *G. sepium*. Los resultados anteriores corroboraron que la variación en el contenido de compuestos fenólicos en el follaje de

leguminosas arbóreas se atribuye, en parte, a género, especie, tipo de manejo de la poda y suelo en el cual se desarrolla el árbol.

La presencia y cantidad de taninos condensados en el follaje de árboles forrajeros ha adquirido mayor atención debido a que su consumo puede beneficiar o perjudicar el nivel productivo y estado de salud de los pequeños rumiantes (Hoste *et al.*, 2015; Naumann *et al.*, 2017). El consumo de plantas con alto contenido en taninos condensados ($> 50 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$) puede reducir el consumo voluntario debido a sus propiedades astringentes (Barry y Duncan, 1984; Waghorn *et al.*, 1994; Frutos *et al.*, 2004). En este sentido, el contenido de taninos condensados detectado en el follaje de *E. americana*, con edades de rebrote entre 60 días y 120 días, puede ser considerado como intermedio (entre $6 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$ y $14 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$) por lo que es posible que el consumo voluntario en pequeños rumiantes no se vea afectado, favoreciendo con ello su empleo como recurso alimenticio en sistemas de producción de tipo silvopastoril (Benavides, 1999; Botero y Russo, 1999).

Con respecto al uso de follajes con alto contenido en taninos condensados para el control de los nematodos gastroentéricos en pequeños rumiantes, estudios realizados *in vivo* con hojas de *Lysiloma latisiliquum*, leguminosa de áreas tropicales con alto contenido en taninos (34 g kg^{-1} de MS), indican que estos permiten reducir la excreción de huevos en heces, la fecundidad de las hembras y pueden generar alteraciones estructurales en la cutícula de hembras adultas del nematodo gástrico *Haemonchus contortus*, y con ello afectar negativamente su movimiento y nutrición, con posibles consecuencias sobre su reproducción (Ayala Burgos *et al.*, 2006; Martínez-Ortiz-de-Montellano *et al.*, 2010, 2013). En el caso del follaje de *E. americana* se desconoce si su contenido de taninos condensados permite ejercer un control sobre algún proceso vital de los nematodos gastroentéricos que evite el uso de antihelmínticos para su

control; así como, el número de días y cantidad de follaje que deben consumir los pequeños rumiantes para reducir los efectos negativos que les causan este tipo de nematodos.

Conclusiones

La edad de rebrote de *E. americana* afectó el contenido de proteína cruda, carbohidratos estructurales y compuestos fenólicos en el follaje. A los 90 días se detectó el mayor contenido de proteína cruda con respecto a 60 días y 120 días. El menor contenido de carbohidratos estructurales se presentó entre 90 días y 120 días. Conforme se incrementó la edad de rebrote la concentración de taninos condensados fue mayor. En la edad de rebrote de 90 días, el follaje de *E. americana* representa una alternativa de complemento alimenticio para pequeños rumiantes manejados en sistemas de producción de tipo silvopastoril debido a su contenido de proteína cruda, carbohidratos estructurales y taninos condensados.

Reconocimientos

La autora principal agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por el financiamiento para los estudios de Maestría en el Programa de Producción Agroalimentaria en el Trópico (CPOS-PROPAT-CT-078/2016).

Referencias

Ávalos García, A., & Pérez-Urria Carril, E. (2009) Metabolismo secundario de plantas. *Reduca (Biología)*. *Serie Fisiología Vegetal*, 2(3), 119-145.

Ayala Burgos, A. J., Capetillo Leal, C. M., Cetina Góngora, R. H., Zapata Campos, C., & Zandoval Castro, C. A. (2006). *Composición química-nutricional de árboles forrajeros*. Yucatán, México: Universidad Autónoma de Yucatán.

Barry, T. N., & Duncan, S. J. (1984). The role of condensed tannins in the nutritional value of *Lotus pedunculatus* for sheep. 1. Voluntary intake. *British Journal of Nutrition*, 51(3), 485-491. doi:10.1079/BJN19840054

Benavides, J. (1999). Árboles y arbustos forrajeros: una alternativa agroforestal para la ganadería. En M. D. Sánchez & M. Rosales (Eds.), *Agroforestería para la producción animal en latinoamérica* (pp. 449-477). Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/014/x1213s/x1213s.pdf>

Best, D. A., Lara-Lara, P. E., Aguilar-Urquizo, E., Cen-Chuc, F. E., Ku-Vera, J. C., & Sanginés-García, J. R. (2017). In vivo digestibility and nitrogen balance in sheep diets with foliage of fodder trees in substitution for soybean meal. *Agroforest Systems*, 91(6), 1079-1085. doi:10.1007/s10457-016-9982-3

Borges, D. G. L., & Borges, F. A. (2016). Plants and their medicinal potential for controlling gastrointestinal nematodes in ruminants. *Nematoda*, 3, e92016. doi:10.4322/nematoda.00916

Botero, R. & Russo, R. O. (1999). Utilización de árboles y arbustos fijadores de nitrógeno en sistemas sostenibles de producción animal en suelos ácidos tropicales. En M. D. Sánchez & M. Rosales (Eds.), *Agroforestería para la producción animal en latinoamérica* (pp. 171-200). Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/014/x1213s/x1213s.pdf>

Bryant, J. P., Chapin, F. S., & Klein, D. R. (1983). Carbon/nutrient balance of boreal plants in relation to vertebrate herbivory. *Oikos*, 40, 357-368. doi:10.2307/3544308

Carmona Agudelo, J. C. (2007). Efecto de la utilización de arbóreas y arbustivas forrajeras sobre la dinámica digestiva en bovinos. *Revista Lasallista de Investigación*, 4(1), 40-50. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/695/69540107.pdf>

Comisión Nacional del Agua [Conagua]. (2017). *Estación automática Huimanguillo, Tabasco*. Servicio meteorológico nacional. Recuperado de <http://www.conagua.gob.mx/>

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [Conabio]. (2017). *Colorín, Patol, Zompante Erythrina americana*. Biodiversidad mexicana. Recuperado de <http://www.biodiversidad.gob.mx/Difusion/cienciaCiudadana/urbanos/ficha.php?item=Erythrina%20americana>

Choque Durand, H., Huaita Patiño, A., Cárdenas Villanueva, L. A., & Ramos Zúñiga, R. (2018). Efecto de la edad de rebrote en la degradación ruminal del pisonay (*Erythrina sp*) en el

valle interandino de Abancay. *Journal of High Andean Research*, 20(2), 189-202.

doi:10.18271/ria.2018.363

Díaz Padilla, G., Ruíz Corral, J. A., Medina García, G., Cano García, M. A., & Serrano Altamirano, V. (2006). *Estadísticas climáticas básicas del estado de Tabasco (período 1961- 2003). Libro técnico 12*. Veracruz, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Enríquez Quiroz, J. F., Meléndez Nava, F., Bolaños Aguilar, E. D., & Esqueda Esquivel, V. A. (2011). *Producción y manejo de forrajes tropicales. Libro técnico 28*. Veracruz, México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Estiarte, M., De Castro, M., & Espelta, J. M. (2007). Effects of resource availability on condensed tannins and nitrogen in two *Quercus* species differing in leaf life span. *Annals of Forest Science*, 64(4): 439-445. doi:10.1051/forest:2007021

Frutos, P., Hervás, G., Giráldez, F. J., & Mantecón, A. R. (2004). Review. Tannins and ruminant nutrition. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2(2), 191-202. doi:10.5424/sjar/2004022-73

García, E. (2004). *Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen*. D.F., México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.

García-Ferrer, L., Bolaños-Aguilar, E. D., Ramos-Juárez, J., Osorio, A., M., & Lagunes-Espinoza, L. del 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), 453. doi:10.22319/rmcp.v6i4.4105

García-Mateos, R., Soto-Hernández, M., & Vibrans, H. (2001). *Erythrina americana* Miller ("Colorín": Fabaceae), a versatile resource from Mexico: A Review. *Economic Botany*, 55(3), 391-400. doi:10.1007/BF02866562

Grande Cano, J. D. (2010). *Los árboles forrajeros como recurso potencial para el desarrollo de sistemas silvopastoriles en la región de la sierra de Tabasco*. Tesis de doctorado, Universidad Autónoma Metropolitana, México. Recuperado de <http://tesiuami.izt.uam.mx/uam/asp/asp/presentatatesis.php?recno=15363&docs=UAMI15363.pdf>

Grande Cano, D., Villanueva López, G., Maldonado García, N. M., & Hernández Daumás, S. (2013). Las cercas vivas. En N. M. Maldonado G. (coordinador). *Los sistemas silvopastoriles en Tabasco. Una opción para desarrollar una ganadería productiva y amigable con la naturaleza* (pp. 23-39). Tabasco, México: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Herns, D. A., & Mattson, W. J. (1992). The Dilemma of plants: To grow or defend. *The Quarterly Review of Biology*, 67(3), 283-335. doi:10.1086/417659

Hoste, H., Torres-Acosta, J. F., Sandoval-Castro, C.A., Mueller-Harvey, I., Sotiraki, S., Louvandini, H., Thamsborg, S. M., & Terrill, T.H. (2015). Tannin containing legumes as a model for nutraceuticals against digestive parasites in livestock. *Veterinary Parasitology*, 15(212), 5-17. doi:10.1016/j.vetpar.2015.06.026

Iason, G. R., Hartley, S. E., & Duncan, A. J. (1993). Chemical composition of *Calluna vulgaris* (Ericacea): do responses to fertilizer vary with phenological stage? *Biochemical Systematics and Ecology*, 21, 315-321. doi:10.1016/0305-1978(93)90023-K

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi]. (2017). *Anuario Estadístico Tabasco*. México: INEGI. Recuperado de http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2017/702825095123.pdf

Juárez Lagunes, F. I., Montero Lagunes, M., Alpírez Mendoza, F., Contreras Jácome, J. L., & Canudas Lara, E. G. (2004). *Evaluación nutricional de leguminosas tropicales para bovinos de doble propósito. Memoria científica No. 10*. Veracruz, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias.

Latimer Jr., G. M. (2012). *Official methods of analysis of AOAC International*. Maryland, E. U. A: AOAC International.

Li, Y-G., Tanner, G., & Larkin, P. (1996). The DMACA–HCl protocol and the threshold proanthocyanidin content for bloat safety in forage legumes. *Journal of the Science of*

Food and Agriculture, 70, 89-101. doi:10.1002/(SICI)1097-0010(199601)70:1<89::AID-JSFA470>3.0.CO;2-N

Llera Zavala, M. & Meléndez Nava, F. (1994). *Establecimiento y manejo de cercos vivos en Tabasco. Folleto técnico 14*. Tabasco, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias.

Makkar, H. P. S., Dawra, R. K., & Singh, B. (1991). Tannin leaves of some oak species at different stages of maturity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 54(4), 513–519. doi:10.1002/jsfa.2740540403

Makkar, H. P. S., Blummel, M., Borowy, N. K., & Becker, K. (1993). Gravimetric determination of tannins and their correlations with chemical and protein precipitation methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 61, 161-165. doi:10.1002/jsfa.2740610205

Martínez-Ortíz-de-Montellano, C., Arroyo-López, C., Fourquaux, I., Torres-Acosta, J. F. J., Sandoval-Castro, C. A., & Hoste, H. (2013). Scanning electron microscopy of *Haemonchus contortus* exposed to tannin-rich plants under *in vivo* and *in vitro* conditions. *Experimental Parasitology*, 133(3): 281-286. doi:10.1016/j.exppara.2012.11.024

Martínez-Ortíz-de-Montellano, C., Vargas-Magaña, A. J., Canul-Ku, L., Miranda-Soberanis, R., Capetillo-Leal, C., Sandoval-Castro, C. A., Hoste, H., & Torres-Acosta, J. F. J. (2010). Effect of a tropical tannin-rich plant, *Lysiloma latisiliquum* on adult populations of

Haemonchus contortus in sheep. *Veterinary Parasitology*, 172(3-4), 283–290.

doi:10.1016/j.vetpar.2010.04.040

Massad, T. J., Dyer, L. E., & Vega, C., G. (2012). Costs of defense and a test of the carbon-nutrient balance and growth-differentiation balance hypotheses for two co-occurring classes of plant defense. *PLoS One*, 7(10), e47554 doi:10.1371/journal.pone.0047554

Meléndez Nava, F. (2003). *Manejo de forrajes tropicales en Tabasco. Folleto técnico sin número*. Tabasco, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias e Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco.

Milton, J. S. (2007). *Estadística para biología y ciencias de la salud*. Madrid, España: Mc Graw-Hill Interamericana.

Moguel, E. J., & Molina-Enríquez, J. F. (2000). La precipitación pluvial en Tabasco y Chiapas. *Kuxulkab'*, 5(10), 1-8.

Mojica-Rodríguez, J. E., Castro-Rincón, E., Carulla-Fornaguera, J., & Lascano-Aguilar, C. E. (2017). Efecto de la especie y la edad de rebrote en el perfil de ácidos grasos de leguminosas y arbustivas tropicales. *Revista Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(3), 463-477. doi:10.21930/rcta.vol18_num3_art:738

Múzquiz, M., Burbano, C., Cuadrado, C. & De la Cuadra, C. (1993). Determination of thermo resistant antinutritional factors in legumes. I. Alkaloids. *Investigación Agrararia. Producción y Protección Vegetal*, 8, 351-361.

Naumann, H. D., Tedeschi, L. O., Zeller, W. E., & Huntley, N. F. (2017). The role of condensed tannins in ruminant animal production: advances, limitations and future directions. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46(12), 929-949. doi:10.1590/s1806-92902017001200009

Oliva Hernández, J., López Herrera, M. A., Velázquez Jiménez, E., López Enríquez, G., & Vélez Pérez, I.I. (2019). Eficiencia en la cosecha manual de follaje de moté (*Erythrina americana* Miller). *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(51), 53-67. doi:10.29298/rmcf.v10i51.201.

Palma-López, D.J., Jiménez-Ramírez, R., Zavala-Cruz, J., Bautista-Zuñiga, F., Gavi-Reyes, F., & Palma-Cancino, D. Y. (2017). *Agroproductividad*, 10(12), 29-35. Recuperado de https://www.colpos.mx/wb_pdf/Agroproductividad/2017/AP-10-12-2017_ISSN-e.pdf.

Pinto, R., Gómez, H., Hernández, A., Medina, F., Martínez, B., Aguilar, V. H., Villalobos, I., Nahed, J., & Carmona, J. (2003). Preferencia ovina de árboles forrajeros del Centro de Chiapas, México. *Pastos y Forrajes*, 26(4), 329-334.

Pinto, R., Ramírez, L., Kú Vera, J. C., & Ortega, L. (2002). Especies arbóreas y herbáceas forrajeras del sureste de México. *Pastos y Forrajes*, 25(3), 171-180.

Porter, L. H., Hrstich, L. N., & Chan, B. C. (1985). The conversion of procyanidins and prodelphinidins to cyaniding and delphinidin. *Phytochemistry*, 25(1), 223-230. doi:10.1016/S0031-9422(00)94533-3.

Rana, K. K., Wadhwa, M., & Bakshi, M. P. S. (2006). Seasonal variations in tannin profile of tree leaves. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 19, 1134-1138. doi:10.5713/ajas.2006.1134.

Romero Lara, C. E., Palma García, J. M., & López, J. (2000). Influencia del pastoreo en la concentración de fenoles totales y taninos condensados en *Gliricidia sepium* en el trópico seco. *Livestock Research for Rural Development*, 12(4). Recuperado de <http://www.fao.org/livestock/agap/frg/lrrd/lrrd12/4/rome124.htm>

Singh, B., Sahoo, A., Sharma, R., & Bhat, T. K. (2005). Effect of polyethylene glycol on gas production parameters and nitrogen disappearance of some tree forages. *Animal Feed Science and Technology*, 123-124, 351-364. doi:10.1016/j.anifeedsci.2005.04.033

Statistical Analysis System [Sas]. (2002). Statistical Analysis System, SAS/STAT. En *User's Guide (Release 9.0)*. North Carolina, E. U. A.: SAS Institute.

Universidad Autónoma de la Ciudad de México [Uacm]. (2017). *Colorín, Zompantle. Programa ambiental de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México*. Recuperado de <http://desarrollo.uacm.edu.mx/sitios/pauacm/colorin.html>.

Van Soest, P. J., Robertson, J. D., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74, 3583-3597. doi:10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2

Waghorn, G. C., Shelton, I. D., & McNabb, W. C. (1994). Effects of condensed tannins in *Lotus pedunculatus* on its nutritive value for sheep. 1. Non-nitrogenous aspects. *The Journal of Agriculture Science*, 123(1), 99-107.

Wood, C. D., Stewart, J. L., & Vargas, J. E. (1998). Genetic variation in the nutritive value of *Gliricidia sepium*.: 2. Leaf chemical composition and fermentability by an in vitro gas production technique. *Animal Feed Science and Technology*, 75(2), 125-143. doi:10.1016/S0377-8401(98)00198-9

Manuscrito recibido el 25 de julio de 2018

Aceptado el 8 de julio de 2019

Publicado el 30 de marzo de 2020

Este documento se debe citar como:

Hernández-Espinoza, D. F., Lagunes-Espinoza, L. C., López-Herrera, M. A., Ramos-Juárez, J. A., González-Garduño, R., & Oliva-Hernández, J. (2020). Edad de rebrote de *Erythrina americana* Miller y concentración de compuestos fenólicos en el follaje. *Madera y Bosques*, 26(1), e2611826. doi: 10.21829/myb.2020.2611826