

Asociación entre medidas morfológicas del tronco en *Erythrina americana* Miller y rendimiento de follaje comestible

Relationship between morphological measurements of trunk in *Erythrina americana* Miller and yield of edible foliage

Jorge Oliva-Hernández^{1*},
María Aurelia López-
Herrera²,
Erika Belem Castillo-
Linares¹

¹Campo Experimental Huimanguillo, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, km 1 carretera Huimanguillo-Cárdenas, CP. 86400. Tabasco, México.

²Campo Experimental Mochá, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Calle 6 número 398 x 13, Avenida Correa Rachó, CP. 97130. Yucatán, México.

*Autor de correspondencia:
oliva.jorge@inifap.gob.mx

Nota científica

Recibido: 17 de febrero 2021

Aceptado: 24 de abril 2021

Como citar: Oliva-Hernández J, López-Herrera MA, Castillo-Linares EB (2021) Asociación entre medidas morfológicas del tronco en *Erythrina americana* Miller y rendimiento de follaje comestible. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 8(1): e2863. DOI: 10.19136/era.a8n1.2863

RESUMEN. El objetivo del estudio fue analizar la relación entre altura y diámetro del árbol de *Erythrina americana* con el rendimiento de follaje a una edad de rebrote de 90 días. Se emplearon 47 árboles con altura de 1.6 m \pm 0.2 m, diámetros a 0.20 m y 1.3 m del suelo, de 0.085 \pm 0.021 m y 0.065 \pm 0.018 m, respectivamente. La asociación entre altura y diámetros del árbol con el rendimiento de materia seca (RMS) árbol⁻¹, se determinó con correlación. La variación en RMS árbol⁻¹ se determinó a través de regresión múltiple. Altura y diámetros del árbol a 0.20 y 1.3 m tuvieron asociación positiva con RMS árbol⁻¹ ($p < 0.05$ y $p < 0.001$, respectivamente). El diámetro del árbol a 0.20 m explicó 34% de la variación en RMS árbol⁻¹ ($p < 0.0001$). Altura y diámetro del árbol no tuvieron valor predictivo importante en el RMS árbol⁻¹.

Palabras clave: Alimento, cerco vivo, leguminosa arbórea, ovinos, trópico húmedo.

ABSTRACT. The aim of this study was to analyze the relationship of diameter and height of *Erythrina americana* tree with the foliage yield at a regrowth age of 90 days. Forty-seven trees with height of 1.6 m \pm 0.2 m, diameters of 0.085 \pm 0.021 and 0.065 \pm 0.018 at a height of 0.20 m and 1.3 m from soil respectively were used. The relationship between height and diameters of the tree with the dry matter yield (DMY) tree⁻¹ was determined with correlation process. The variation in DMY tree⁻¹ was determined through multiple regression. Tree height and diameters at 0.20 and 1.3 m had a positive relationship with DMY tree⁻¹ ($p < 0.05$ and $p < 0.001$, respectively). The diameter of the tree at 0.20 m explained 34% of the variation in DMY tree⁻¹ ($p < 0.001$). Tree height and diameter did not have an important predictive value in DMY tree⁻¹.

Key words: Food, living fence, arboreal legume, sheep, humid tropic.

INTRODUCCIÓN

En la ganadería de rumiantes mayores y menores de tipo extensivo de la región con clima cálido húmedo de México, se encuentra con frecuencia la presencia de árboles como parte de los cercos perimetrales y de aquellos que dividen las praderas (Grande et al. 2013, Hernández-Espinoza et al. 2020a, Oliva-Hernández et al. 2021). Donde conviven diversos tipos de árboles o arbustos con múltiples propósitos debido a que pueden tener diferentes funciones, como protección de la radiación solar y lluvia para los animales; en otros sus ramas pueden ser utilizadas como leña, mientras que el follaje se utiliza como alimento para animales (Morantes-Tolosa y Renjifo 2018, Hernández-Espinoza et al. 2020b).

El follaje de algunas leguminosas arbóreas representa un alimento, sobre todo para los ovinos, por lo que su uso como parte de la dieta de los animales puede contribuir a la sostenibilidad de los rebaños a pequeña escala (Benavides 1999, Ku et al. 1999). La leguminosa arbórea *Erythrina americana* Miller se encuentra presente en plantaciones de *Theobroma cacao* L., y en cercos vivos de fincas ganaderas es considerado un recurso forestal (Grande et al. 2013, Morantes-Tolosa y Renjifo 2018, Sol-Sánchez et al. 2018), aunque, el uso de su follaje como alimento no es frecuente debido a que los productores ignoran, en parte, su composición química y la cantidad que puede proporcionarse a los animales (Maldonado et al. 2008, Candelaria-Martínez et al. 2015, Morantes-Tolosa y Renjifo 2018), así como las opciones en el manejo de los árboles para la recolección de follaje (Oliva-Hernández et al. 2019).

A nivel experimental, la facilidad de la recolección manual del follaje de *E. americana* y su uso como alimento animal, son aspectos estudiados de manera previa con el fin de incrementar sostenibilidad a los rebaños de rumiantes en pastoreo (Oliva-Hernández et al. 2019, Hernández-Espinoza et al. 2020b). El follaje de *E. americana* presenta entre 14.5 y 25.6% de proteína cruda (PC) y entre 52.4 y 60.9% de fibra detergente neutro (FDN) por lo que su uso como parte del alimento ofrecido a los animales representa una alternativa (Hernández-Espinoza et

al. 2020a, Oliva-Hernández et al. 2019). Además, las hojas de esta especie son palatables para el animal y, en ovinos, pueden incluirse como parte del alimento en un 30% o ser la única fuente de alimento por períodos reducidos (28 días) sin causar un daño a la salud de los animales (Best et al. 2017, Hernández-Espinoza et al. 2020b). Cuando el árbol *E. americana* se poda en forma controlada a intervalos de 90 y 120 días puede producir follaje todo el año, siendo estas edades las de mayor rendimiento de materia seca (MS) con respecto a 30 y 60 días (Meléndez 2003, Oliva-Hernández et al. 2021). Además, se ha observado que la interacción entre altura, duración del intervalo entre cortes y diámetro del árbol afecta el rendimiento de follaje (Ramos-Trejo et al. 2016, Oliva-Hernández et al. 2021). No obstante, el uso eficaz de *E. americana* como abastecedor de follaje implica reconocer variables alométricas sencillas de evaluar y que permitan predecir el rendimiento del follaje árbol⁻¹, con el fin de disponer de prácticas agronómicas para optimizarlo. En ese sentido, la altura, el diámetro basal y diámetro a la altura del pecho, son algunas variables alométricas que se han utilizado para predecir la producción de biomasa en diversos tipos de árboles [*Acacia pennatula* (Schltdl. y Cham.) Benth y *Guazuma ulmifolia* Lam.] y arbustos (*Celtis pallida* Torr. y *Condalia microphylla* Cav, Ramnácea), adquiriendo importancia aquellas cuyo follaje puede ser utilizado como alimento de rumiantes, tales como, *E. americana* (López-Merlín et al. 2003, Gaillard et al. 2013, Hernández-Espinoza et al. 2020b). Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar si hay relación entre la altura y el diámetro del árbol con el rendimiento de follaje de *E. americana* a una edad de rebrote de 90 días.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en la unidad experimental ovina del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), localizada en Huimanguillo, Tabasco, México (17° 50' LN, 93° 23' LO) a una altura de 25 msnm, con una pendiente menor al 2%, su principal corriente de agua la representa el río Mezcalapa y el tipo de suelo

pertenece al grupo Fluvisol (INEGI 2017, Zavala-Cruz et al. 2016). El clima que predomina en la región es cálido húmedo con lluvias todo el año (Af) con una variación isothermal entre 24 y 26 °C y una variación pluvial entre 2 000 y 2 500 mm año⁻¹ (INEGI 2017).

En el sitio experimental (17° 51' LN, 93° 24' LO) los promedios en los valores mínimos, medios y máximos de temperatura, humedad relativa, radiación solar y el acumulado en la precipitación pluvial que prevalecieron durante los 90 días de crecimiento foliar de *E. americana* se indican en la Tabla 1. La información climática del sitio experimental se obtuvo de la estación meteorológica localizada en Huimanguillo localizada a 253 m del sitio experimental (CONAGUA 2017).

Selección de árboles y poda

Los árboles estudiados formaron parte de un conjunto de 140 árboles situados en los cercos que limitan las praderas utilizadas en el área experimental para el pastoreo de los ovinos (plantados con material vegetativo entre 2009 y 2012) y no recibieron riego, ni fertilización. En función del total de árboles, se eligieron los que estuvieran rectos, sin ramas y que tuvieran una altura de poda entre 1.3 y 2.0 m con el fin de evitar que los ovinos consumieran el follaje y facilitar su cosecha manual durante el estudio; con una distancia entre árboles cercana a 1 m y con un diámetro basal a 0.20 m del suelo mayor a 0.05 m y menor a 0.13 m, variación factible de encontrar en los cercos vivos de fincas ganaderas. Los árboles que reunieron estas características fueron 47, en lo que la altura de poda promedio (\pm DE) fue 1.6 ± 0.2 m, distancia entre árboles de 0.97 ± 0.26 m; y los diámetros a la base (0.20 m) y a la altura del pecho (1.3 m de altura del suelo) fueron de 0.085 ± 0.021 y 0.065 ± 0.018 m, respectivamente (Salazar 1989). El total de árboles se podaron por primera vez en abril de 2016 para lograr uniformidad en altura de poda y en la edad de rebrote. Posterior a la primera poda, los árboles se podaron a intervalos de 90 días, de tal modo que, antes de iniciar el estudio éstos habían recibido cuatro podas.

Variables evaluadas

La variable alométrica altura de poda se midió desde el nivel de suelo y hasta el sitio en donde se realizó el corte de uniformidad de altura. La medición se realizó con una regla graduada en centímetros. El diámetro del árbol se determinó a dos alturas, a 0.20 m con el fin de evitar medir deformaciones en la base del árbol y a la altura del pecho (1.30 m del nivel del suelo), esta última se ha recomendado para describir el árbol, su adaptación al sitio y para estimar su capacidad productiva en madera en volumen árbol⁻¹ y biomasa árbol⁻¹ (Salazar 1989, López-Merlin et al. 2003). La medición se realizó con un vernier (Truper[®], México, modelo CALDI-6MP). En cada altura se realizaron dos mediciones y se generó un promedio (FAO 2004).

En estudios previos con *E. americana*, establecieron las edades de rebrote de 90 y 120 días como las de mayor rendimiento de MS con relación a las edades de 30 y 60 días (Meléndez 2003). Así también, a los 90 días de rebrote, el follaje presenta mayor PC y menor contenido de carbohidratos estructurales (Hernández-Espinoza et al. 2020a), por lo cual se definió evaluar el rendimiento de follaje árbol⁻¹ a los 90 días de rebrote. El follaje incluyó hojas y peciolo sin incluir tallos tiernos ni ramas. El follaje verde se pesó utilizando una báscula con capacidad para 20 kg y una precisión de 25 g (TecnoCor[®], México).

Se seleccionaron aleatoriamente seis árboles y se colectaron muestras de follaje. Las cuales se deshidrataron a 50 °C, se molieron y cribaron, utilizando una malla de 1 mm en molino Thomas-Wiley (Wiley[®] Model 4 Mills, Thomas Scientific); posteriormente, a cada una se le determinó por duplicado MS, cenizas (método 942.05), materia orgánica y PC (método 954.01) (AOAC 1990); fracciones de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) con la técnica propuesta por Van Soest et al. (1991).

En el árbol se midieron las variables rendimiento de follaje verde árbol⁻¹ (g), rendimiento de MS árbol⁻¹ (g) y rendimiento de PC árbol⁻¹ (g). El rendimiento de MS árbol⁻¹ se calculó con los kilogramos de follaje verde cosechado árbol⁻¹ multipli-

Tabla 1. Valor de las variables climáticas en el sitio de estudio durante 90 días previos a la recolección de follaje de *Erythrina americana*.

Variable	Valores			
	Acumulado	Media	Mínimo	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	–	27.9	23.7	32.9
Humedad relativa (%)	–	85.5	47.0	99.0
Radiación solar (Wm ⁻²)	–	209.7	99.2	315.7
Precipitación pluvial (mm)	583	–	–	–

cado por el valor de MS del follaje (%). Mientras que el rendimiento de PC árbol⁻¹ se determinó con el rendimiento de MS árbol⁻¹ multiplicado por el valor de PC del follaje (%).

Análisis estadístico

Se aplicó el test de Kolmogorov-Smirnov a los datos para conocer su distribución, obteniendo que todas las variables dependientes estudiadas presentaron una distribución normal. La unidad experimental fue el árbol. Los análisis se efectuaron con el programa estadístico SAS versión 9.1 (SAS 2004). La asociación entre altura y diámetro del árbol con el rendimiento de MS árbol⁻¹ se estableció con la correlación de Pearson. La variación en el rendimiento de MS árbol⁻¹ se determinó con regresión múltiple ($P < 0.05$) con la opción stepwise, el coeficiente de Mallows (Cp) como criterio de confianza para elegir entre modelos de regresión y utilizando como variable independientes altura y diámetros del árbol a 0.20 y 1.30 m del nivel del suelo.

El modelo para explicar la variación en la variable respuesta fue el siguiente: $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_k X_k$, donde: Y = es el valor esperado de rendimiento de MS para un árbol, β_0 = el intercepto con Y, β_1, \dots, β_k = es la pendiente de la regresión de Y respecto de X_1 para valores fijos de los otros X; X_1 = es la altura del árbol, X_2 = es el diámetro a 0.20 m del mismo árbol y X_3 = es el diámetro a 1.3 m del mismo árbol.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición química del follaje

En la Tabla 2 se indica la composición química del follaje de *E. americana*. El contenido de PC en el follaje de *E. americana* obtenido en este trabajo (13.7%) fue menor al encontrado en el follaje de la

misma especie y a la misma edad de rebrote (17.3%) reportado por Hernández-Espinoza *et al.* (2020a). No obstante, el valor de PC foliar de *E. americana* registrada en el estudio fue mayor al indicado en gramíneas tropicales sin fertilizar en la época de lluvias [8.9% en *Brachiaria brizantha* (Hochst. Ex A. Rich.) Stapf] (Valles *et al.* 2016), circunstancia que le otorga una oportunidad para formar parte de los programas de alimentación para rumiantes en pastoreo y contribuir a cubrir los requerimientos de PC de los animales.

Tabla 2. Composición química del follaje de *Erythrina americana* a una edad de rebrote de 90 días durante la etapa de transición de sequía a lluvias.

Componente	Número de componentes	Media (%) ± DE
Materia seca	6	25.9 ± 2.1
Materia orgánica ¹	6	92.0 ± 0.3
Cenizas ¹	6	8.0 ± 0.3
Proteína cruda ¹	6	13.7 ± 0.7
Fibra detergente neutro ¹	6	50.6 ± 2.0
Fibra detergente ácido ¹	6	33.2 ± 1.5

¹, como porcentaje de la materia seca

En el follaje de *E. americana* los valores obtenidos de FDN y FDA fueron inferiores a los indicados en follaje de la misma especie con una edad de rebrote de 60 (66.9 y 50.4% en FDN y FDA, respectivamente) y 120 días de 59.1% de FDN y 36.2% de FDA por Hernández-Espinoza *et al.* (2020a) (Tabla 2). Además, el contenido de FDN y FDA en follaje de *E. americana* fue menor al indicado en gramíneas tropicales sin fertilizar en la época de lluvias como *B. brizantha* con contenidos del 71.1% de FDN y 42.8% de FDA, condición que aumenta la probabilidad de degradar mayor energía en el rumen (Valles *et al.* 2016, Castillo-Lopez y Domínguez-Ordóñez 2019). El crecimiento microbiano en el rumen depende, en parte, del contenido de carbohidratos estructurales y

del porcentaje de degradabilidad de la MS consumida por el rumiante, situación que condiciona la proporción de energía que se libera como consecuencia de la fermentación de los carbohidratos estructurales (Castillo-Lopez y Domínguez-Ordóñez 2019).

Los valores detectados en cenizas y materia orgánica en follaje de *E. americana* (Tabla 2), son similares a los indicados para este mismo tipo de follaje sin fertilizar y con diferentes edades de rebrote reportados en los trabajos de Oliva-Hernández et al. (2019) y Hernández-Espinoza et al. (2020a) y con los de otras leguminosas arbóreas como *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp. y *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Ku et al. 1999). En las gramíneas tropicales se ha detectado mayor variabilidad en el contenido de cenizas de entre 4.1 a 14.0% con respecto al indicado en *E. americana* (Enríquez et al. 2011, Fernandes et al. 2020), lo cual puede deberse al tipo de suelo, edad de rebrote y especie de gramínea. En el follaje de *E. americana* se detecta una mayor estabilidad en el aporte de minerales lo que puede significar una ventaja nutricional al usarlo como alimento. Sin embargo, se requieren estudios complementarios que identifiquen el tipo y disponibilidad de los minerales presentes en el follaje de *E. americana*, así como, su variación asociada al tipo de suelo.

Producción y predicción del rendimiento de follaje

Las medias generales (\pm desviación estándar) para el rendimiento de follaje verde árbol^{-1} , MS árbol^{-1} y PC árbol^{-1} fueron: 927 ± 609 g, 240 ± 158 g y 33 ± 22 g, respectivamente. El rendimiento de MS árbol^{-1} y PC árbol^{-1} obtenido en este trabajo en *E. americana* durante las lluvias es semejante a la que indican Oliva-Hernández et al. (2021) durante la sequía en este mismo tipo de árbol con una edad de rebrote de 90 días. Sin embargo, Ramos-Trejo et al. (2016) indican en *G. sepium* un menor rendimiento de hoja (2.72 t MS ha^{-1} lo que implica 98 g MS planta^{-1}) con $20\,000$ plantas ha^{-1} , 75 días de edad de rebrote y altura del árbol de 0.90 m. Por su parte, Melchor et al. (2005) en *G. sepium* con $6\,670$ plantas ha^{-1} y 84 días de edad de rebrote obtu-

vieron una producción de hoja de 2.71 t MS ha^{-1} lo que implica 405 g MS planta^{-1} . Las diferencias en producción de MS árbol^{-1} entre estudios pueden ser atribuidas a la especie arbórea, densidad, edad de rebrote, altura del árbol, época y tipo de suelo.

La altura y diámetros del árbol a 0.20 y 1.3 m del suelo tuvieron una asociación positiva con la producción de MS árbol^{-1} (Tabla 3). Un mayor diámetro en el tronco favoreció una mayor superficie de xilema, tejido conductor de agua, compuestos inorgánicos y orgánicos desde la raíz hacia las hojas, así como, de floema, tejido que permite el reparto masivo de agua y el transporte aminoácidos, hormonas y carbohidratos producidos en los sitios de síntesis o de aquellos movilizados desde los sitios de almacenamiento hacia los órganos vertedero o demanda del árbol (Taiz y Zeiger 2002, Zúñiga-Sánchez et al. 2017). Una mayor superficie de tejidos conductores de nutrientes puede explicar la relación positiva entre diámetro del árbol y rendimiento de MS árbol^{-1} .

Tabla 3. Asociaciones entre altura y diámetros a 0.20 y 1.30 m del suelo del árbol *Erythrina americana* y el rendimiento de materia seca árbol^{-1} (g) durante la etapa de transición de sequía a lluvias.

Variable	Rendimiento de materia seca árbol^{-1} a una edad de rebrote de 90 días
Diámetro a 0.20 m del nivel del suelo	0.64^{***}
Diámetro a 1.30 m del nivel del suelo	0.49^{***}
Altura (m)	0.30^*

*** $p < 0.001$; * $p < 0.05$.

Las variables diámetro a 1.30 m del suelo y la altura del árbol no fueron incorporadas al modelo final de predicción del rendimiento de MS debido a que tuvieron un valor de $p > 0.05$ y los modelos en donde se incluyeron tuvieron un coeficiente de determinación menor a 0.25 . Además, se detectó asociación positiva ($r = 0.89$, $p < 0.001$) entre diámetro a 0.20 m con diámetro a 1.30 m y no se detectó asociación ($p > 0.05$) entre algunos de los dos diámetros estudiados con la altura. El modelo final de predicción del rendimiento de MS árbol^{-1} que se obtuvo en función del diámetro a 0.20 m del suelo de *E. americana* se indica en la Tabla 4. El modelo generado indica que mayores diámetros a 0.20 m del suelo resultaron en una mayor producción de MS, el diámetro del ár-

Tabla 4. Modelo de predicción del rendimiento de materia seca árbol⁻¹ (RMS) (g) en función del diámetro (a 0.20 m del suelo; D20) de *Erythrina americana* a una edad de rebrote de 90 días durante la etapa de transición de sequía a lluvias.

	Significancia	R ²	DER
RMS = -134 (± 87) + 4465 (± 967) (D20, m)	p < 0.0001	0.34	127

R² = Coeficiente de determinación; DER = desviación estándar residual; D-20 = árboles con diámetro entre 0.05 y 0.13 m.

bol a 0.20 m del suelo, explicó 34% de la variación en el rendimiento de MS a los 90 días de rebrote (p < 0.0001).

El diámetro del árbol no contribuyó a pronosticar la fluctuación en el rendimiento de MS en una dimensión considerable. Un resultado similar se reporta en *A. pennatula* con una edad de rebrote de seis meses y un diámetro basal entre 0.03 y 0.60 m, en donde un modelo alométrico lineal que incluyó al diámetro a la base como variable independiente no permitió predecir (R² = 0.13) la producción de MS. Sin embargo, en *G. ulmifolia* la inclusión del diámetro a la base en el modelo alométrico explicó el 55% de la variación en la producción de follaje (López-Merlín et al. 2003). Entre tanto, Iglesias y Haydée (2010) realizaron estudios con seis especies caducifolias de la familia Fabaceae y detectaron que el diámetro a la base permite calcular la biomasa aérea (ramas y hojas), en donde las ecuaciones lineales generadas permitieron predecir la biomasa aérea con un coeficiente de determinación mayor a 0.7.

En las especies arbustivas *C. pallida* y *C. microphylla*, Gaillard et al. (2013) estudiaron el rendimiento de MS, sus resultados indican que el modelo que incluyó únicamente a la altura total, permitió explicar de forma más precisa la variabilidad en el rendimiento de MS, con relación a una ecuación que contempló además de la altura, los perímetros en la base y en la copa de los arbustos. Mientras que, Hierro et al. (2000) generaron modelos para estimar la biomasa aérea total y biomasa de hojas y ramas de ocho especies de arbustos comunes en el arbustal semiárido (Monte) del centro de Argentina.

La variable que permitió predecir la biomasa de hojas fue el ancho máximo de la corona con un coeficiente de determinación superior al 0.83. En estudios futuros se tendrá que identificar otras variables de fácil medición y bajo costo para poder predecir con mayor certeza el rendimiento de MS árbol⁻¹ en *E. americana*, ya que los estudios de predicción de biomasa total y biomasa de hojas en leguminosas arbóreas de interés en la ganadería resultan importantes para proyectar el rendimiento de MS árbol⁻¹ y para establecer un programa de manejo de la poda de forma escalonada, con el fin de disponer de un complemento alimenticio para rumiantes de manera continua a través del año, dando con ello sostenibilidad al sistema de producción, por un mejor uso de los recursos naturales disponibles en la zona tropical.

En los árboles *E. americana* que forman parte de un cerco vivo, la altura y diámetro, en las medidas estudiadas, no permiten predecir de forma importante el rendimiento de MS árbol⁻¹ a una edad de rebrote de 90 días. Sin embargo, el rendimiento de MS y PC de este tipo árboles permite considerarlos como una opción para proveer de un complemento alimenticio a los rumiantes durante la transición de la sequía a lluvias.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo forma parte del proyecto "Manejo del cerco vivo como proveedor de follaje", clave SIGI: 11391334207, financiado por el INIFAP.

LITERATURA CITADA

AOAC (1990) Official Methods of Analysis. 15th edition. Association of Official Analytical Chemists. Virginia, USA. 771p.

- Benavides J (1999) Árboles y arbustos forrajeros: una alternativa agroforestal para la ganadería. En: Sánchez MD, Rosales M (ed). Agroforestería para la producción animal en latinoamérica. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. pp: 449-477.
- Best DA, Lara-Lara PE, Aguilar-Urquizo E, Cen-Chuc FE, K-Vera JC, Sanginés-García JR (2017) In vivo digestibility and nitrogen balance in sheep diets with foliage of fodder trees in substitution for soybean meal. *Agroforestry Systems* 91: 1079-1085.
- Candelaria-Martínez B, Flota-Bañuelos C, Castillo-Sánchez LE (2015) Caracterización de los agroecosistemas con producción ovina en el oriente de Yucatán, México. *Agronomía Mesoamericana* 26: 225-236.
- Castillo-Lopez E, Domínguez-Ordóñez MG (2019) Factores que afectan la composición microbiana ruminal y métodos para determinar el rendimiento de la proteína microbiana. Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 10: 120-148.
- CONAGUA (2017) Estación Automática Huimanguillo, Tabasco. Comisión Nacional del Agua Servicio Meteorológico Nacional. <http://www.conagua.gob.mx/>. Fecha de consulta 31 de julio de 2017.
- Enríquez JF, Meléndez F, Bolaños ED, Esqueda VA (2011) Producción y manejo de forrajes tropicales. Primera edición. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Veracruz, México. 404p.
- FAO (2004) Inventario forestal nacional. Manual de campo. Modelo. Departamentos de Montes. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Documento de trabajo 94/S. Guatemala. 89p.
- Fernandes LS, dos Santos G, Costa MG, Emerenciano JV, Medeiros IM, Santos JL, Chaves AL (2020) Pasture structure and sheep performance supplemented on different tropical grasses in the dry season. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 11: 89-101.
- Gaillard C, Pece M, Juárez M, Gómez A, Zárate M (2013) Modelización de funciones para estimar biomasa aérea individual de piquillín (*Condalia microphylla* Cav, Ramnacea) y tala chiquito (*Celtis pallida* Torr, Celtidacea) en la provincia de Santiago del Estero, Argentina. *Quebracho* 21: 46-57.
- Grande D, Villanueva G, Maldonado NM, Hernández S (2013) Las cercas vivas. En: Maldonado NM (Coord). Los sistemas silvopastoriles en Tabasco. Una opción para desarrollar una ganadería productiva y amigable con la naturaleza. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Villahermosa, Tabasco, México. pp: 23-39.
- Hernández-Espinoza DF, Lagunes-Espinoza L del C, López-Herrera MA, Ramos-Juárez JA, González-Garduño R, Oliva-Hernández J (2020a) Edad de rebrote de *Erythrina americana* Miller y concentración de compuestos fenólicos en el follaje. *Madera y Bosques* 26: e2611826. DOI: 10.21829/myb.2020.2611826
- Hernández-Espinoza DF, Ramos-Juárez JA, González-Garduño R, Lagunes-Espinoza L del C, López-Herrera MA, Oliva-Hernández J (2020b) Consumo de follaje de *Erythrina americana* Miller en ovejas Blackbelly x Pelibuey. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 11: 70-88.
- Hierro JL, Branch LC, Villareal D, Clark KL (2000) Predictive equations for biomass and fuel characteristics of Argentine shrubs. *Journal of Range Management* 53: 617-621.
- Iglesias M del R, Haydée A (2010) Estimación de la biomasa aérea de seis leguminosas leñosas del Chaco Árido (Argentina). *Ecología Austral* 20: 71-79.
- INEGI (2017) Anuario estadístico y geográfico de Tabasco. Instituto Nacional de Estadística y Geografía México. 443p.
- Ku JC, Ramiro L, Jiménez G, Alayón JA, Ramírez L (1999) Árboles y arbustos para la producción animal en el trópico mexicano. En: Sánchez MD, Rosales M (ed). Agroforestería para la producción animal en

- latinoamérica. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. pp: 231-250.
- López-Merlín D, Soto-Pinto L, Jiménez-Ferrer G & Hernández-Daumás S (2003) Relaciones alométricas para la predicción de biomasa forrajera y leña de *Acacia pennatula* y *Guazuma ulmifolia* en dos comunidades del norte de Chiapas, México. *Interciencia* 28: 334-339.
- Maldonado MN, Grande DJ, Fuentes EE, Hernández S, Pérez-Gil F, Gómez A (2008) Los sistemas silvopastoriles de la región tropical húmeda de México: El caso de Tabasco. *Zootecnia Tropical* 26: 305-308.
- Meléndez F (2003) Manejo de forrajes tropicales en Tabasco. Primera edición. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias e Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco, Tabasco, México. 40p.
- Melchor I, Vargas J, Velázquez A, Etchevers J (2005) Aboveground biomass production and nitrogen content in *Gliricidia sepium* (JACQ.) WALP. Under several pruning regimes. *Interciencia* 30: 151-158.
- Morantes-Tolosa JL, Renjifo LM (2018) Cercas vivas en sistemas de producción tropicales: una revisión mundial de los usos y percepciones. *Revista de Biología Tropical* 66: 739-753.
- Oliva-Hernández J, López-Herrera MA, Velázquez-Jiménez E, López-Enríquez G, Vélez-Pérez II (2019) Eficiencia en la cosecha manual de follaje de moté (*Erythrina americana* Miller). *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 10: 53-67.
- Oliva-Hernández J, López-Herrera MA, Castillo-Linares EB (2021) Composición química y producción de follaje de *Erythrina americana* (Fabaceae) en cercos vivos durante dos épocas climáticas. *Revista de Biología Tropical* 69: 90-101.
- Ramos-Trejo O, Canul-Solis JR, Ku-Vera JC (2016) Forage yield of *Gliricidia sepium* as affected by harvest height and frequency in Yucatan, Mexico. *Revista Bio Ciencias* 4: 116-123.
- Salazar R (1989) Guía para la investigación silvicultural de especies de uso múltiple. Serie de investigación técnica. Boletín técnico 20. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 174p.
- SAS (2004) SAS/STAT® 9.1 User's Guide. SAS Inst. Inc. Cary, NC. 5121p.
- Sol-Sánchez A, López-Juárez SA, Córdova-Ávalos V, Gallardo-López F (2018) Productividad potencial del SAF cacao asociado con árboles forestales. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático* 4: 862-877.
- Taiz L, Zeiger E (2002) Plant physiology. Third edition. Sinauer Associates Inc., Sunderland, Massachusetts, USA. 690p.
- Valles B, Castillo E, Bernal H (2016) Rendimiento y degradabilidad ruminal de materia seca y energía de diez pastos tropicales cosechados a cuatro edades. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 7: 141-158.
- Van Soest PJ, Robertson JD, Lewis BA (1991) Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74: 3583-3597.
- Zavala-Cruz J, Jiménez R, Palma-López DJ, Bautista F, Gavi F (2016) Paisajes geomorfológicos: base para el levantamiento de suelos en Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 3: 161-171.
- Zúñiga-Sánchez E, Martínez-Barajas E, Zavaleta-Mejía E, Gamboa-de-Buen A (2017) El floema y la ruta simplástica durante la formación de órganos de demanda. *Revista Fitotecnia Mexicana* 40: 249-259.