



Rendimiento de biomasa y composición química de *Morus alba* L. a diferentes intervalos de cosecha y alturas de corte en el sur de México †

[Biomass yield and chemical composition of *Morus alba* L. at different harvest intervals and cutting heights in southern Mexico]

J. F. Rodríguez-Tuz¹, J. G. Escobedo-Mex¹, K. B. Medina-Dzul¹,
A. T. Piñero-Vázquez¹, F. Casanova-Lugo^{2*}, M. A. Escobedo-Cruz¹
and A. Escobedo-Cabrera²

¹Tecnológico Nacional de México Campus Instituto Tecnológico de Conkal. Avenida Tecnológico s/n C.P. 97345, Conkal, Yucatán, México. Emails:

fidel.rodriguez@itconkal.edu.mx; escobmex@yahoo.com.mx;

kati.md@conkal.tecnm.mx; pineiroiamc@gmail.com; militzaescobedo@gmail.com

²Tecnológico Nacional de México Campus Instituto Tecnológico de la Zona Maya. Carretera Chetumal-Escárcega km 21.5, Ejido Juan Sarabia, C.P. 77960, Othón P. Blanco, Quintana Roo, México. Emails: fkzanov@gmail.com *;

wf_escobedo@yahoo.com.mx

*Corresponding author

SUMMARY

Background: The use of *Morus alba* L. forage can improve the productive parameters of ruminants in periods of forage scarcity, due to its high biomass yield and crude protein content, which surpass those of tropical grasses that typically contain high fiber concentrations compared to this tree species. **Objective:** To evaluate the effect of three harvest intervals (30, 60 and 90 days) and three cutting heights (50, 75 and 100 cm) on the biomass yield and chemical composition of *M. alba*. **Methodology:** The yields of leaves, tender stems, mature stems, edible material, and total biomass were evaluated. Additionally, the contents of organic matter (OM), ash, acid detergent fiber (ADF), neutral detergent fiber (NDF), and crude protein (CP) in leaves and tender stems of *M. alba* were analyzed at different harvest intervals and cutting heights during the rainy and dry seasons. The data were subjected to an analysis of variance for a completely randomized design with a 3 × 3 factorial structure. **Results:** The harvest interval significantly affected the evaluated yield variables. Biomass yield was higher when harvested every 90 days compared to 30- and 60-day intervals. Regarding the chemical composition of leaves and tender stems, it was observed that the harvest interval affected it the most. The interaction between both factors influenced the contents of organic matter (OM), ash, and neutral detergent fiber (NDF) in the leaves, with high contents observed at 90-day intervals and a cutting height of 75 cm. **Implications.** These findings are important for the management and optimal use of this forage species in animal feed and can contribute to the development of more efficient and sustainable livestock systems. **Conclusion:** The yield and chemical composition of *M. alba* are more affected by the harvest interval than by height and interaction. Therefore, it is essential to consider this factor in its management to develop more efficient and sustainable livestock systems.

Key words: fodder banks; mulberry tree; multipurpose tree; nutritional value.

RESUMEN

Antecedentes: El uso del forraje de *Morus alba* L. puede mejorar los parámetros productivos de los rumiantes en período de escasez de forraje, gracias a su alto rendimiento de biomasa y contenido de proteína cruda, que es superior al de las gramíneas tropicales que presentan altas concentraciones de fibra, en comparación con esta arbórea. **Objetivo:**

† Submitted August 19, 2024 – Accepted August 4, 2025. <http://doi.org/10.56369/tsaes.5810>



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

ISSN: 1870-0462.

ORCID = J.F. Rodríguez-Tuz: <http://orcid.org/0009-0008-5989-1975>; J.G. Escobedo-Mex: <http://orcid.org/0000-0002-4124-6184>; K.B. Medina-Dzul: <http://orcid.org/0000-0002-8754-9076>; A.T. Piñero-Vázquez: <http://orcid.org/0000-0002-8400-4046>; F. Casanova-Lugo: <http://orcid.org/0000-0003-2485-9170>; M.A. Escobedo-Cruz: <http://orcid.org/0000-0001-6795-9775>; A. Escobedo-Cabrera: <http://orcid.org/0000-0002-5803-6060>

evaluar el efecto de tres intervalos de cosecha (30, 60 y 90 días) y tres alturas de corte (50, 75 y 100 cm) en el rendimiento de biomasa y composición química de *M. alba*. **Metodología:** Se evaluó el rendimiento de hojas, tallos tiernos, tallos maduros, material comestible y el total de biomasa. Además, se analizaron en hojas y tallos tiernos el contenido de materia orgánica (MO), cenizas, fibra detergente ácida (FDA), fibra detergente neutra (FDN) y proteína cruda (PC) en *M. alba* a diferentes intervalos y alturas de cosecha en período de lluvia y seca. Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza para un diseño completamente al azar con estructura factorial 3×3 . **Resultados:** El intervalo de cosecha afectó significativamente a las variables de rendimiento evaluadas. El rendimiento de biomasa fue más alto cuando se cosecha cada 90 días en comparación con intervalos de 30 y 60 días. En cuanto a la composición química de las hojas y tallos tiernos, se observó que el intervalo de cosecha fue quien más la afectó. La interacción entre ambos factores influyó en el contenido de MO, cenizas y FDN en hojas, observando altos contenidos a intervalos de 90 días a 75 cm de altura de cosecha, mientras en los tallos tiernos únicamente el contenido de FDA fue modificado. **Implicaciones:** Estos hallazgos son importantes para el manejo y aprovechamiento óptimo de esta especie forrajera en la alimentación animal y que pueden contribuir en el desarrollo de sistemas ganaderos más eficientes y sostenibles. **Conclusión:** El rendimiento y composición química de *M. alba*, se ven afectados más por el intervalo que la altura de cosecha e interacción. Por lo tanto, es esencial considerar este factor en su manejo para desarrollar sistemas ganaderos más eficientes y sostenibles. **Palabras clave:** árbol multipropósito; bancos de forraje; morera; valor nutricional.

INTRODUCCIÓN

En las regiones tropicales de México, la ganadería es importante en proveer, ingresos y contribuir en la erradicación de la pobreza (Quintanilla-Medina *et al.*, 2020). Sin embargo, los parámetros productivos y reproductivos en bovinos tienden a ser afectada por la poca disponibilidad y calidad nutritiva de los pastos durante la temporada seca (Melesse *et al.*, 2019), que contienen una cantidad alta de fibra (> 70%) y baja concentración de proteína cruda (< 7%). Dichos pastos permiten en los bovinos un aumento de peso menor a 300 g/día y producción de leche de 4 L/día (Vera *et al.*, 2014). Dada esta situación, los ganaderos utilizan suplementos balanceados que son demasiados caros, incrementando los costos de producción, reduciendo la rentabilidad y sostenibilidad de los sistemas de producción ganadera (Osés y García, 2006). Ante esta situación, es necesario evaluar nuevas opciones de alimentación asequibles y que imiten los efectos de los concentrados sin efectos adversos en la productividad animal (Narváez, 2004).

Los árboles multiusos son alternativas de alimentación a bajo costo para mejorar la productividad de los bovinos, especialmente durante la estación de seca (Rodríguez y Roncallo, 2013). A diferencia de forrajes herbáceos y leguminosas, pueden retener sus hojas verdes y contenidos entre 15 y 25 % de proteína cruda, aunado a su potencial forrajero (Quintanilla-Medina *et al.*, 2020). Además, el uso de especies arbóreas y arbustivas contribuye a la sostenibilidad de los sistemas agrícolas, agroforestales y silvopastoriles, proporcionan productos y servicios ambientales, como la captura de carbono atmosférico, el ciclo de nutrientes, el control de la erosión de los suelos, la mejora de la infiltración de las condiciones físicas y biológicas del suelo (Rubio *et al.*, 2004). La arbórea

Morus alba, descrita por Medina *et al.* (2009), pertenece a la familia Moraceae y es originaria de Asia, la planta se propaga fácilmente a diferentes condiciones climáticas, crece desde los 0 hasta 2 500 msnm, para su crecimiento requiere temperaturas de 18 a 38 °C, con precipitación de 600 a 2 500 mm, fotoperiodo de 9 a 13 h y humedad relativa de 65 a 80%. Esta especie es utilizada tradicionalmente para alimentar al gusano de seda (Nalini y Vennila, 2024), y cuando se usa este forraje en la alimentación de rumiantes, el rendimiento de los animales a menudo ha sido comparable al uso de alimentos convencionales (mezcla de cereales o semillas oleaginosas), debido a su alto potencial nutricional (Dumont *et al.*, 2014). Su forraje contiene 21% de proteína cruda, es aceptable y comestible para los rumiantes (González y Martín, 2017). Sin embargo, se ha informado que su producción y valor nutritivo, puede variar en función de varios factores agronómicos y ambientales.

En algunos estudios agronómicos realizados en *M. alba* para determinar la influencia del intervalo de cosecha, se ha encontrado que existen diferencias entre los periodos utilizados (40, 55, 70 y 85 días) en cuanto a la producción de biomasa y su composición química (Zapatier-Santillan *et al.*, 2021). Por otra parte, al utilizar algunas alturas de poda, no se ha encontrado diferencias en cuanto a la producción de biomasa (Medina y Lamela, 2005). Sin embargo, estos resultados han sido contrastantes con los obtenidos en otras investigaciones, en las cuales se ha encontrado diferencias significativas entre las alturas de corte (i.e., 5, 20 y 40 cm) en la producción de materia seca por hectárea (Eltayb *et al.*, 2013). Estos resultados evidencian que la información acerca de la influencia de las diferentes alturas de corte en la producción de materia seca es contradictoria y en otros casos preliminar (Noda *et al.*, 2007). Ante esta situación,

surge la necesidad de corroborar en nuevos trabajos y en situaciones ambientales diferentes el efecto de estos factores y su interacción. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la frecuencia y altura de cosecha, sobre el rendimiento y composición química de *Morus alba* L. bajo condiciones edafoclimáticas de Yucatán, con el propósito de recomendar la mejor estrategia de manejo que permita un rendimiento óptimo de biomasa y mejor calidad para la alimentación animal, y contribuir en el desarrollo de sistemas ganaderos más eficientes y sostenibles.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Instituto Tecnológico de Conkal, Yucatán, México (20° 05' N y 89° 32' O). El tipo de suelo pertenece al litosol con pH de 7 a 8 (Bautista *et al.*, 2015). El sitio cuenta con una temperatura máxima y mínima promedio de 32 y 20 °C y una precipitación anual de 824.7 mm. Los datos meteorológicos durante el período experimental se obtuvieron de la estación climática de la institución, ubicada a una distancia de 1 Km aproximado al sitio experimental y se presentan en la Figura 1. El experimento tuvo una duración de 10 meses y abarcó de junio 2018 – abril 2019.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar con estructura factorial 3 × 3, para evaluar el rendimiento de biomasa y valor nutricional de las hojas y tallos de *M. alba*. Los tratamientos consistieron en tres intervalos de cosecha (30, 60 y 90 días) y tres alturas

de corte (50, 75 y 100 cm). La combinación de ambos factores originó un total de nueve tratamientos. Cada tratamiento fue replicado seis veces, por lo que se establecieron 54 parcelas experimentales.

Establecimiento y manejo de parcelas experimentales

El establecimiento de las parcelas experimentales se realizó en período de lluvias, durante el mes de junio de 2017, el cual inicio con la preparación del terreno, limpieza y quema de malezas. El tamaño de cada parcela experimental fue de 4 m de largo y 2 m de ancho con 1 m de separación entre hileras y 0.50 m entre plantas, con una densidad de 20000 plantas por hectárea. Se utilizó material vegetativo de *M. alba*, obtenido de una plantación de aproximadamente dos años de edad, las estacas tuvieron una longitud promedio de 30 cm y un grosor de 8 mm. La plantación se realizó, colocando las estacas en forma vertical con respecto al suelo. Se dejó, al menos, una yema bajo superficie. Se empleó enraizador comercial Raizone Plus®, con la finalidad de promover el rápido enraizamiento de los propágulos y la mayor emisión de las yemas. Se realizaron labores de limpieza cada tres meses para mantener el área libre de arvenses y se aplicó riego por aspersión al cultivo tres días a la semana durante 3 horas al día, durante 11 meses. También se aplicó fertilización mineral (FertiQuim®) con una dosis de 100 kg ha⁻¹ año⁻¹, fraccionado en cada fecha de cosecha desde el momento del corte de uniformización de las parcelas experimentales. La concentración de los elementos en el fertilizante fue 17 % nitrógeno, 17 % fósforo y 17 % potasio, respectivamente.

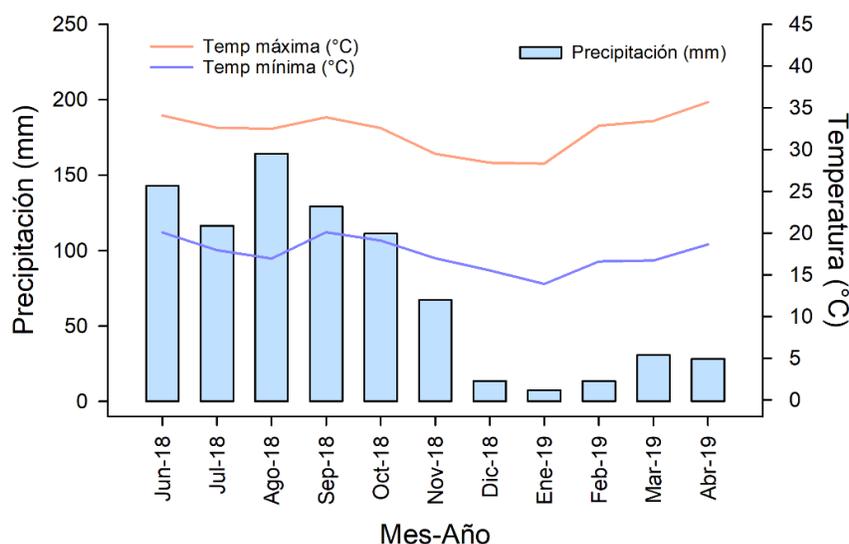


Figura 1. Precipitación pluvial y temperaturas máximas y mínimas promedio durante el período experimental.

Muestreo de parcelas experimentales

El estudio inició hasta que las plantas alcanzaron 1 m de altura. Todas las plantas de *M. alba* se cortaron el día 30 de junio de 2018, según el tratamiento de altura de cosecha asignado y los intervalos de cosecha que fueron posteriormente implementados. Se realizaron en total 10, 5 y 3 cosechas de biomasa total aérea de acuerdo con las frecuencias respectivas y alturas de cosecha correspondientes. La cosecha de biomasa de *M. alba* se realizó de forma manual, teniendo en cuenta la frecuencia prefijada. Primero se cortaron las plantas del borde y después, las siete plantas centrales que fueron objeto de análisis (parcela útil).

Rendimiento de biomasa

El total de material removido por parcela experimental se pesó en fresco y se seleccionaron dos submuestras de 150 g, una para la determinación total de la materia seca y otra para componentes morfológicos: en la que se separó la hoja del tallo tierno (diámetro igual o mayor a 6 mm) y tallo maduro (diámetro mayor a 6 mm). Posteriormente se secó hasta peso constante durante 48 h en una estufa de aire forzado a 55 °C, para finalmente estimar el contenido de materia seca. Con la información generada se determinó el rendimiento promedio de biomasa de hojas, tallos tiernos, tallos gruesos o maduros, biomasa comestible (forraje) y biomasa total expresados en kg MS ha⁻¹.

Composición nutricional

Para determinar la composición bromatológica se tomó una muestra compuesta por separado de hojas y tallos tiernos de *M. alba* cosechada según el tratamiento asignado. Posteriormente se secaron en una estufa de aire forzado a 55 °C durante 48 h. Las muestras fueron molidas en un molino Thomas Wiley® a un tamaño de partícula de 1 mm y se almacenaron a temperatura ambiente, hasta el momento de los análisis de laboratorio. El contenido de materia orgánica (MO) y cenizas se determinó por incineración a 600 °C por un tiempo de 4 horas (AOAC, 2016). Los contenidos de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácida (FDA), se determinaron por medio de un analizador de fibras ANKOM A200 (ANKOM Technology, Macedon, NY, USA). El contenido de nitrógeno (N) se determinó por el método de digestión utilizando un micro-Kjeldahl Velp Scientifica™ A0000169 (Velp Scientifica y Usmate-Italia), posteriormente fue transformado a proteína cruda (PC) por el factor de conversión 6.25 (Greenfield y Southgate, 2003).

Análisis estadístico

Los datos de rendimiento de biomasa de hojas, el de tallos tiernos, tallos maduros, material comestible, para el total y la de composición química de hojas y tallos tiernos fueron sometidas a pruebas estadísticas de normalidad (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (prueba de Levene). Posteriormente, fueron analizados mediante un análisis de varianza para un diseño completamente al azar (ANOVA) de dos vías (Cochran y Cox, 1991), y al presentarse diferencia estadística significativa entre tratamientos, intervalo de cosecha (i.e., 30, 60 y 90 días), altura de corte (i.e., 50, 75 y 100 cm) e interacción entre ambos factores, se aplicó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey al 5 %, para declarar el mejor tratamiento. Además, a partir de las características bromatológicas de las hojas y tallos tiernos se realizó un análisis de componentes principales (ACP) para conocer su contribución a la variación total de los datos. Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando programación R (Versión 3.6.1) y el software interactivo Jamovi Versión 2.3.21 (<https://www.jamovi.org/>).

RESULTADOS

Los análisis estadísticos mostraron que los rendimientos de hojas, tallos tiernos, tallos maduros, material comestible y biomasa total de *M. alba* fueron superiores en intervalos de cosecha de 90 días, con valores de 1501, 150, 1100, 1651 y 2751 kg MS ha⁻¹, respectivamente, comparado con los intervalos de 30 y 60 días. Por el contrario, la altura de corte no mostró efectos significativos sobre los rendimientos de biomasa de *M. alba* (Tabla 1).

El intervalo de cosecha a 90 días mostró los mayores contenidos de FDA y FDN (146.6 y 267.6 g kg⁻¹ MS) en las hojas de *M. alba*, y menores contenidos de PC (164 g kg⁻¹ MS), no obstante, los contenidos de MO y cenizas en las hojas de *M. alba* fueron similares entre los intervalos de cosecha evaluados (Tabla 2).

Por otra parte, la altura de corte a 100 cm, mostró un alto contenido de FDA en las hojas de *M. alba* (137.6 g kg⁻¹ MS), comparado con los demás tratamientos. A pesar de lo anterior, los contenidos de MO, Cenizas, FDN y PC, fueron similares entre las alturas de corte evaluadas (Tabla 2).

Tabla 1. Rendimiento de hojas, tallos tiernos, tallos maduros, material comestible y biomasa total de *Morus alba* L. (kg MS ha⁻¹), bajo diferentes intervalos de cosecha (días) y alturas de corte (cm), en Yucatán, México.

Tratamientos	Hojas	Tallos tiernos	Tallos maduros	Material comestible	Total
Intervalo de cosecha (días)					
30	755.7 ^c	100.4 ^b	163.9 ^c	856.1 ^c	1020.0 ^c
60	1297.0 ^b	113.0 ^b	545.4 ^b	1410.0 ^b	1955.3 ^b
90	1500.8 ^a	149.8 ^a	1100.3 ^a	1650.6 ^a	2750.9 ^a
E.E.M.	96.0	11.1	82.6	100.9	174.7
Valor <i>p</i>	<0.001	0.007	<0.001	<0.001	<0.001
Altura de corte (cm)					
50	1129.5	130.9	579.6	1260.4	1840.0
75	1194.3	114.1	611.3	1308.3	1919.6
100	1222.0	117.4	604.8	1339.4	1944.2
E.E.M.	97.5	11.3	83.8	102.3	177.4
Valor <i>p</i>	0.750	0.540	0.939	0.822	0.872

Medias seguidas de literales distintas en cada columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a Tukey ($p \leq 0.05$). E.E.M., error estándar de las medias.

Tabla 2. Composición bromatológica de las hojas de *Morus alba* L. (g kg⁻¹ MS), bajo diferentes intervalos de cosecha (días) y alturas de corte (cm), en Yucatán, México.

Tratamientos	MO	Cenizas	FDA	FDN	PC
Intervalo de cosecha (días)					
30	869.7	130.3	98.3 ^b	219.4 ^b	208.4 ^a
60	867.0	133.0	114.7 ^b	233.1 ^b	188.4 ^b
90	873.6	126.5	146.6 ^a	267.6 ^a	164.6 ^c
E.E.M.	3.0	3.0	8.2	14.1	7.4
Valor <i>p</i>	0.113	0.113	<0.001	0.002	<0.001
Altura de corte (cm)					
50	870.4	129.6	104.0 ^b	244.3	186.5
75	869.7	130.4	118.1 ^b	225.3	180.4
100	870.1	129.9	137.6 ^a	250.5	194.5
E.E.M.	2.9	2.9	7.0	12.9	5.0
Valor <i>p</i>	0.968	0.968	<0.001	0.157	0.076

Medias seguidas de literales distintas en cada columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a Tukey ($p \leq 0.05$). E.E.M., error estándar de las medias.

La interacción entre los intervalos de cosecha (días) y las alturas de corte (cm) mostraron efectos significativos sobre el contenido de MO, Cenizas y FDN en las hojas de *M. alba* (Tabla 3). Al respecto, se observó que los mayores contenidos de MO fueron para los intervalos de cosecha a 90 días con una altura de corte de 75 cm, mientras que el menor valor fue para los intervalos de 60 días a una altura de 75 cm. Este comportamiento fue contrario para las cenizas, es decir; este último tratamiento fue el que mostró los valores más altos. Asimismo, los contenidos de FDN fueron superiores en el intervalo de cosecha a 90 días con alturas de 50 y 100 cm, mientras que el intervalo de cosecha de 30 días con una altura de corte de 75 cm y el intervalo de cosecha de 60 días con una altura de corte de 50 cm, mostraron los valores inferiores (Tabla 3).

Con respecto a la composición bromatológica de los tallos tiernos de *M. alba*, los análisis estadísticos mostraron que los mayores contenidos de MO y FDN, fueron para los intervalos de cosecha a 60 y 90 días, mientras que, a intervalos de 30 días se observaron los más altos contenidos de cenizas y PC (82.5 y 102.1 g kg⁻¹ MS). El contenido de FDA en los tallos tiernos de *M. alba* fue similar entre intervalos de cosecha (Tabla 4).

La altura de corte a 75 cm mostró un alto contenido de MO (932.5 g kg⁻¹ MS) y menor contenido de cenizas (67.5 g kg⁻¹ MS) en los tallos tiernos de *M. alba*, mientras que los contenidos de FDA, FDN y PC fueron similares entre alturas de corte (Tabla 4).

Tabla 3. Interacción entre los intervalos de cosecha (días) y alturas de corte (cm) sobre el contenido de materia orgánica, cenizas y fibra detergente neutro (g kg⁻¹ MS), en las hojas de *Morus alba* L., en Yucatán, México.

Intervalo de cosecha(días)	Altura de corte (cm)	MO	Cenizas	FDN
30	50	866.7 ^b	133.3 ^b	233.4 ^b
	75	868.0 ^b	132.0 ^b	197.5 ^c
	100	874.4 ^{ab}	125.6 ^{bc}	227.2 ^b
60	50	874.8 ^{ab}	125.2 ^{bc}	202.4 ^c
	75	860.6 ^c	139.4 ^a	245.9 ^b
	100	865.5 ^b	134.5 ^b	251.1 ^b
90	50	869.8 ^b	130.2 ^b	297.3 ^a
	75	880.4 ^a	119.6 ^c	232.5 ^b
	100	870.5 ^b	129.5 ^b	273.2 ^a
E.E.M.		3.0	3.0	15.1
Valor <i>p</i>		0.012	0.012	0.026

Medias seguidas de literales distintas en cada columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a Tukey ($p \leq 0.05$). E.E.M., error estándar de las medias.

Tabla 4. Composición bromatológica de los tallos tiernos de *Morus alba* L. bajo diferentes intervalos de cosecha (días) y alturas de corte (cm), en Yucatán, México.

Tratamientos	MO	Cenizas	FDA	FDN	PC
Intervalo de cosecha (días)					
30	917.5 ^b	82.5 ^a	417.0	616.2 ^b	102.1 ^a
60	933.0 ^a	67.0 ^b	428.6	659.1 ^a	80.0 ^b
90	931.4 ^a	68.6 ^b	418.6	650.5 ^a	73.3 ^b
E.E.M.	3.1	3.1	20.7	8.7	5.4
Valor <i>p</i>	<0.001	<0.001	0.892	<0.001	<0.001
Altura de corte (cm)					
50	925.7 ^b	74.3 ^a	418.0	641.5	79.5
75	932.5 ^a	67.5 ^b	415.0	640.5	84.4
100	923.8 ^b	76.3 ^a	431.1	643.7	91.6
E.E.M.	3.8	3.8	21.8	10.2	6.5
Valor <i>p</i>	0.043	0.043	0.808	0.903	0.180

Medias seguidas de literales distintas en cada columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a Tukey ($p \leq 0.05$). E.E.M., error estándar de las medias.

Del mismo modo, la interacción entre los intervalos de cosecha (días) y las alturas de corte (cm) mostraron efectos significativos sobre el contenido de FDN en los tallos tiernos de *M. alba*. Al respecto, se observó que los menores contenidos de FDN fueron para los intervalos de cosecha a 30 días con alturas de corte de 50 y 75 cm e intervalos de cosecha a 90 días con alturas de 100 cm (Figura 2).

El análisis de componentes principales (ACP) mostró que, para la composición bromatológica de las hojas de *M. alba* (Figura 3a), el 79.5% de la variabilidad total de los datos se explicó por los componentes CP1 (49%)

y CP2 (30.5%). Las variables con mayor peso en el CP1 fueron los contenidos de MO (0.97), cenizas (-0.97) y FDA (0.66); mientras que el CP2 fue explicado por los contenidos FDN (0.81) y PC (-0.78).

Con respecto a la composición bromatológica de los tallos tiernos de *M. alba* (Figura 3b), el ACP mostró que el 89.7% de la variabilidad total de los datos se explicó por los componentes CP1 (71.5%) y CP2 (18.2%). Las variables con mayor peso en el CP1 fueron los contenidos de MO (0.96), cenizas (-0.96) y FDN (0.83); mientras que el CP2 fue explicado por el contenido de FDA (0.97).

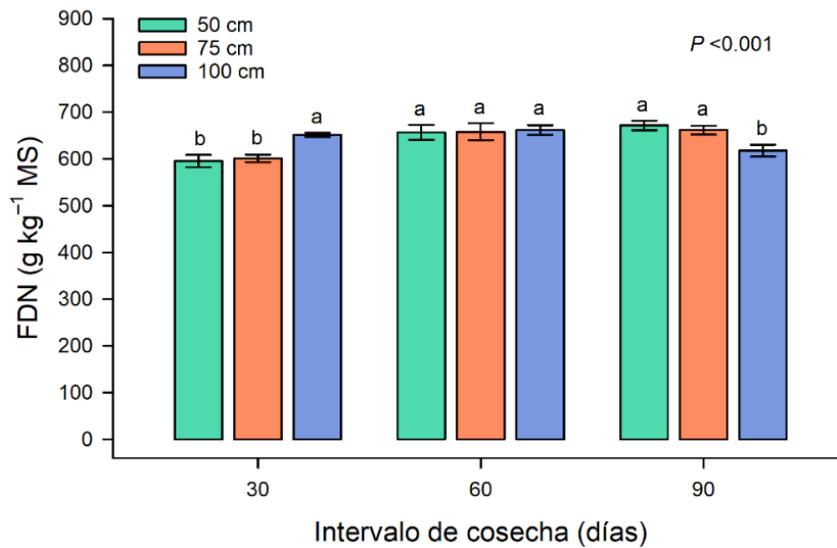


Figura 2. Interacción entre los intervalos de cosecha (días) y alturas de corte (cm) sobre el contenido de fibra detergente neutro en los tallos tiernos de *Morus alba* L., en Yucatán, México. Medias \pm Error estándar con literales distintas entre barras indican diferencias estadísticas de acuerdo a Tukey ($p \leq 0.05$).

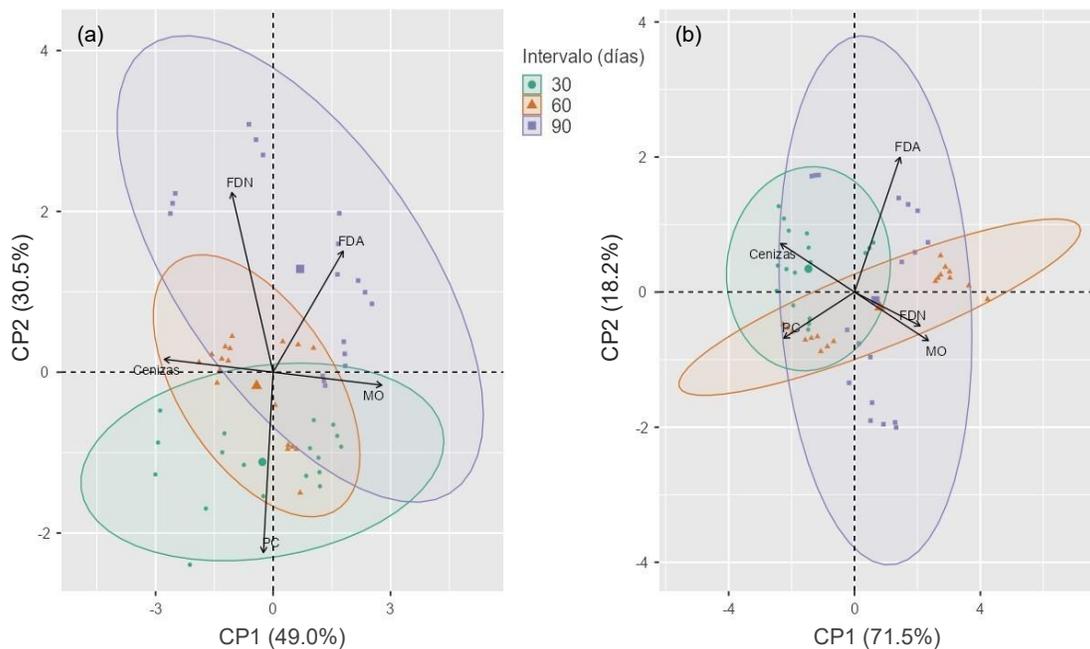


Figura 3. Gráfico biplot de la composición bromatológica de las hojas (a) y tallos tiernos (b) de *Morus alba* L., con diferentes intervalos de cosecha en Yucatán, México.

DISCUSIÓN

Producción de biomasa

Las variables de producción de biomasa de *M. alba* L. se vieron afectadas por el intervalo de cosecha, pero no por la altura de cosecha ni por la interacción. Las

variables de producción a un intervalo de 90 días fueron mayores que a 30 y 60 días. Este resultado era de esperarse, ya que la planta dispone de mayor tiempo para acumular biomasa, lo que pudiese estar relacionado, en gran medida, con lo expresado por Stür *et al.* (1994), quienes señalan que, en el crecimiento de la planta, primero ocurre un rebrote lento, seguida por

un período de máxima productividad. Al respecto, González y Martín (2017), Polo y Moreno (2022), Boschini-Figueroa *et al.* (1998) y Mireles *et al.* (2019), han reportado que a un intervalo de 90 días se obtuvieron 6800, 7702, 21702.7 y 10430 kg MS ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente, valores más altos que los del presente estudio. Estas diferencias podrían atribuirse en parte a la densidad de plantación utilizada (25000 plantas ha⁻¹), que fue mayor que en el presente estudio (20000 plantas ha⁻¹). Una menor densidad de plantación incrementa la altura de las plantas, lo que posibilita una mayor penetración de luz y actividad fotosintética, así como reducción en la competencia por nutrientes y agua (Polo y Moreno, 2022). Mientras que las altas densidades de plantación resultan en un mayor rendimiento hasta cierto punto, después del cual el rendimiento podría disminuir debido a la competencia de las plantas por agua y nutrientes (Casanova-Lugo *et al.*, 2014). Otro factor involucrado en estas diferencias en la producción de biomasa probablemente se deba a la precipitación, que oscilaron entre 1300 a 2475 mm, valores más altos que los registrados durante el presente estudio (824.7 mm). Medina *et al.* (2009) informan que esta especie forrajera requiere en promedio una precipitación de 2500 mm para un mejor crecimiento y producción de biomasa. Sánchez *et al.* (2008) señalan que las plantas forrajeras en los trópicos crecen rápidamente durante períodos de alta precipitación. Debido a que la humedad del suelo según Papanastasis *et al.* (1997), desempeña un papel primordial en la potencialidad hídrica de las plantas, al disminuir el potencial hídrico de las hojas se reduce la velocidad de crecimiento, el rango de formación de rebrotes y el tejido fotosintético, y es posible que el desarrollo de la biomasa se exprese de diferente forma en cada estación climática. Al respecto, González y Martín (2017) han informado que en período de lluvias y seca la producción de biomasa de *M. alba* es diferente, con valores de 13000 y 6100 kg MS ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente. Por su parte, Petit-Aldana *et al.* (2010) han registrado este efecto en árboles como *Guazuma ulmifolia*, *Leucaena leucocephala* y *Moringa oleifera*, donde la mayor producción de biomasa total se encontró al cosechar a intervalo de 90 días en periodo de lluvias en comparación con la estación seca. En la estación de seca, las especies arbóreas forrajeras sujetas a podas periódicas reducen su producción entre un 6 y 30 %, en comparación con la estación lluviosa, debido al agotamiento de las reservas de carbohidratos, y por tanto, al retraso en la recuperación (Petit-Aldana *et al.*, 2009).

Composición química

Los resultados indicaron que el intervalo de cosecha influye significativamente en la composición química

de las hojas de *M. alba*. Al extender el intervalo de cosecha a 90 días, se observó un incremento en el contenido de FDN y FDA, mientras que la concentración de PC disminuyó. Este fenómeno sugiere que el aumento en la madurez fenológica de las hojas resulta en un incremento del contenido de la pared celular y una dilución de las proteínas en el tejido vegetal, a medida que la planta crece y acumula más biomasa (Noda *et al.*, 2005). Estos hallazgos son consistentes con lo reportado por Eshetu *et al.* (2018) y Kabi y Bareeba (2008) para la misma especie. Sin embargo, difiere al reportado por Boschini *et al.* (2006), quienes observaron que a intervalos de cosecha espaciados, no solamente la PC disminuye, hasta la FDN y FDA. Esto concuerda con lo reportado por Kabi y Bareeba (2008) sobre el contenido de FDA. Estos resultados sugieren que la hoja mantiene su grado de lignificación a medida que avanza la edad. Al respecto, Boschini *et al.* (2006) reportaron que el porcentaje de lignificación de las hojas de *M. alba* cosechadas a diferentes intervalos (56, 84 y 112 días) fueron similares estadísticamente (5.68, 4.89 y 5.67 %). Sin embargo, en tallos tiernos resultó todo lo contrario porque el grado de lignificación fue más alto a intervalo de 112 días, al igual que el contenido de FDN y FDA, mientras la PC disminuyó. Esto indica que la composición química puede variar en las diferentes partes de las plantas por efecto del intervalo de cosecha. Asimismo, el análisis de componentes principales reveló que el contenido de cenizas, MO y fibras de las hojas y tallos de *M. alba* (Figura 3a y 3b), fueron las variables que más contribuyeron a la variación total de los datos, lo que coincide con diversos estudios que señalan que dichos elementos influyen en la digestibilidad y el valor nutricional del alimento para los animales, que podría reflejarse en la conversión de los alimentos en energía y en la disponibilidad de nutrientes esenciales (Eshetu *et al.*, 2018; Zapatier-Santillan *et al.*, 2021).

Por otro lado, la altura de cosecha evaluada en el presente estudio afectó exclusivamente el contenido de FDA en las hojas, observándose valores más altos al cosechar a 100 cm sobre el nivel del suelo. No obstante, estos resultados contrastan con los reportados por Boschini *et al.* (2006), quienes no encontraron efecto de la altura de corte sobre el contenido de FDA, sino únicamente sobre los contenidos de FDN y PC, los cuales disminuyeron levemente a una altura de cosecha de 60 cm. En cuanto a los tallos tiernos, no se observó efecto de la altura de cosecha en los contenidos de PC, FDN y FDA, lo cual es consistente con los de Noda *et al.* (2005). Estos hallazgos sugieren que la altura de cosecha puede tener un impacto específico en ciertos componentes químicos de las hojas de *M. alba*, mientras que otros componentes y partes de la planta, como los tallos tiernos, parecen ser

menos afectados. La discrepancia observada entre los resultados del presente estudio y los de Boschini *et al.* (2006) podría deberse a diferencias en las condiciones experimentales, tales como el manejo agronómico, las condiciones edafoclimáticas o incluso las variedades de *M. alba* utilizada en los estudios.

La interacción entre el intervalo y altura de cosecha influyó en el contenido de FDN de las hojas de *M. alba* del presente estudio, observándose valores más altos al cosechar a intervalos de 90 días utilizando alturas de cosecha de 50 y 100 cm. Estos resultados son inconsistentes al reportado por Boschini *et al.* (2006) quienes no encontraron efecto de interacción entre la altura y frecuencia de cosecha sobre la composición química de las hojas de *M. alba*. Estos resultados junto al presente estudio sugieren que el efecto de la interacción entre ambos factores es bajo. Al respecto Noda *et al.* (2007) han encontrado que el contenido de proteína bruta (PB), calcio (Ca) y potasio (K) en hoja son las únicas que varían y esa variación es muy leve. En contraste, en los tallos tiernos se observó lo contrario: al cosechar a intervalos de 90 días a una altura de 100 cm, el contenido de FDN fue menor. Sin embargo, estos resultados difieren con lo reportado por Boschini *et al.* (2006), quienes no encontraron efecto de interacción entre ambos factores sobre la composición química de los tallos de *M. alba*. Esto indica que el efecto de la interacción de los factores sobre la composición química y partes de la planta de *M. alba* es baja. Además, los resultados sugieren que los tallos tiernos responden de manera diferente a las hojas en términos de acumulación de nutrientes.

CONCLUSIONES

El intervalo de cosecha es un factor más determinante en el rendimiento de *M. alba*, mientras que la altura de cosecha no afectó su rendimiento. Un intervalo de 90 días maximiza el rendimiento de *M. alba*, sugiriendo que intervalos más largos pueden ser más beneficiosos para la producción de biomasa. La composición química de las hojas y tallos tiernos se ve más afectada por el intervalo que la altura de cosecha, indicando que ajustar el intervalo de cosecha puede ser una estrategia clave para mejorar la calidad del forraje. A intervalos de 30 días, el contenido de proteína cruda (PC) es más alto y las concentraciones de fibra son más bajas. Asimismo, los contenidos de cenizas, MO y fracciones de fibra explican la mayor variabilidad total de la composición química de las hojas y tallos de *M. alba*.

La interacción entre ambos factores afectó algunas variables de la composición química, aunque su efecto fue ligeramente leve. Por lo tanto, se debe prestar más atención al efecto independiente del intervalo de cosecha, que afecta más a las variables de rendimiento

y composición química. Estos hallazgos son esenciales para el manejo de las plantas y desarrollo de sistemas ganaderos más eficientes y sostenibles en el trópico.

Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México (CONAHCYT), por la beca otorgada al primer autor para cursar estudios de Maestría en Ciencias en Producción Pecuaria Tropical en el Instituto Tecnológico de Conkal, Yucatán, México. También agradece a los revisores anónimos por su tiempo y contribuciones que ayudaron a mejorar este manuscrito.

Funding. This research study was supported by the Tecnológico Nacional de México (TecNM).

Conflict of interest. The authors have declared no conflict of interest.

Compliance with ethical standards. The nature of this work does not require approval by a (bio)ethical committee.

Data availability. The data is available upon request with the first author fkzanov@gmail.com.

Author contribution statement (CRediT). **J. F. Rodríguez-Tuz** – Investigation, Methodology, Data curation, and Writing – original draft. **J. G. Escobedo-Mex** – Conceptualization, Investigation, and Writing – review & editing. **K. B. Medina-Dzul** – Visualization, and Writing – review & editing. **A. T. Piñero-Vázquez** – Methodology, Supervision, Visualization, Writing – review & editing. **F. Casanova-Lugo** – Conceptualization, Data curation, Formal analysis, and Writing – original draft. **M. A. Escobedo-Cruz** – Methodology, Supervision, Visualization, Writing – review & editing. **A. Escobedo-Cabrera** – Methodology, Supervision, Visualization, Writing – review & editing.

REFERENCES

- AOAC, 2016. Official methods of analysis of AOAC International (20th Edition). AOAC International.
- Bautista, F., Frausto, O., Ihl, T. and Aguilar, Y., 2015. Actualización del mapa de suelos del estado de Yucatán, México: Enfoque geomorfopedológico y WRB. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2, pp. 303-315.
- Boschini, C., Dormond-H, H. and Castro-H, Á., 2006. Composición química de la morera (*Morus alba*), para uso en la alimentación animal:

- Densidades y frecuencias de poda. *Agronomía Mesoamericana*, 11(1), pp. 41-49. <https://doi.org/10.15517/am.v11i1.17340>
- Boschini-Figueroa, C., Dormond, H. and Castro, Á., 1998. Producción de biomasa de la morera (*Morus alba*) en la Meseta Central de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 9(2), pp. 31-40. <https://doi.org/10.15517/am.v9i2.19467>
- Casanova-Lugo, F., Petit-Aldana, J., Solorio-Sánchez, F.J., Parsons, D. and Ramírez-Avilés, L., 2014. Forage yield and quality of *Leucaena leucocephala* and *Guazuma ulmifolia* in mixed and pure fodder banks systems in Yucatan, Mexico. *Agroforestry Systems*, 88(1), pp. 29-39. <https://doi.org/10.1007/s10457-013-9652-7>
- Cochran, W.G. and Cox, G.M., 1991. Diseños experimentales. 2nd. Ed. Trillas, México, 661 p.
- Dumont, B., González-García, E., Thomas, M., Fortun-Lamothe, L., Ducrot, C., Dourmad, J. Y. and Tichit, M., 2014. Forty research issues for the redesign of animal production systems in the 21st century. *Animal*, 8(8), pp. 1382-1393. <https://doi.org/10.1017/S1751731114001281>
- Eltayb, M.T.A., Warag, E.E.I. and Elhiuri, A., 2013. Effect of Pruning Height on Growth of five *Morus* species. *Journal of Forest Products & Industries*, 2(2), pp. 27-30.
- Eshetu, T., Negesse, T. and Nurfeta, A., 2018. Biomass yield, chemical composition, *in vitro* organic matter digestibility and gas production of morphological fractions of mulberry (*Morus alba*) plant harvested at three cutting stages. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 18(4), pp. 173-184.
- González-García, E. and Martín-Martín, G., 2017. Biomass yield and nutrient content of a tropical mulberry forage bank: Effects of season, harvest frequency and fertilization rate. *Grass and Forage Science*, 72(2), pp. 248-260. <https://doi.org/10.1111/gfs.12227>
- Greenfield, H. and Southgate, D.A.T., 2003. Food composition data: Production, management and use (2. ed). FAO.
- Kabi, F. and Bareeba, F.B., 2008. Herbage biomass production and nutritive value of mulberry (*Morus alba*) and *Calliandra calothyrsus* harvested at different cutting frequencies. *Animal Feed Science and Technology*, 140(1-2), pp. 178-190. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.02.011>
- Medina, M.G., García, D.E. and Moratinos, P., 2009. Revisión la morera (*Morus* spp.) como recurso forrajero: Avances y consideraciones de investigación. *Zootecnia Tropical*, 27(4), pp. 343-362.
- Medina, M.G. and Lamela, L., 2005. Comportamiento del estrato herbáceo de una asociación de *Morus alba* con *Panicum maximum*. *Pastos y Forrajes*, 28(4), pp. 291-297.
- Melesse, A., Steingass, H., Schollenberger, M., Holstein, J. and Rodehutsord, M., 2019. Nutrient compositions and *in vitro* methane production profiles of leaves and whole pods of twelve tropical multipurpose tree species cultivated in Ethiopia. *Agroforestry Systems*, 93(1), pp. 135-147. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0110-9>
- Mireles, S., Ruiz, M., Samkol, P., Caro, Y., González, D. and Ly, J., 2019. Cutting age and nutritional value of mulberry (*Morus alba*) foliage meal for pigs. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 53(3), pp. 263-270.
- Nalini, K. and Vennila, C., 2024. Effect of cutting height and interval on the productivity of mulberry. *International Journal of Veterinary Sciences and Animal Husbandry*, 9(2), pp. 238-239.
- Narváez, N., 2004. Caracterización química de especies arbóreas tropicales con potencial forrajero en Colombia. *Pasturas Tropicales*, 26(3), pp. 1-8.
- Noda, Y., Martín, G. and García, D.E., 2005. Efecto de la altura y la frecuencia de defoliación en la producción y la calidad de la biomasa de *Morus alba* (Linn). *Pastos y Forrajes*, 28(2), pp. 133-140.
- Noda, Y., Martín, G. and Machado, R., 2007. Rendimiento y calidad bromatológica de *Morus alba* cosechada a diferentes alturas y

- frecuencias de defoliación. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 41(4), pp. 363-369.
- Osés, R.E.B. and García, J.R.S., 2006. Producción forrajera del tulipán (*Hibiscus rosa-sinensis*) según intervalo de corte y densidad de siembra. *Técnica Pecuaria en México*, 44(3), pp. 379-388.
- Papanastasis, V.P., Platis, P.D. and Dini-Papanastasi, O., 1997. Productivity of deciduous woody and fodder species in relation to air temperature and precipitation in a Mediterranean environment. *Agroforestry Systems*, 37(2), 187-198. <https://doi.org/10.1023/A:1005874432118>
- Petit-Aldana, J., Casanova-Lugo, F. and Solorio-Sánchez, F., 2010. Rendimiento de forraje de *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia* y *Moringa oleifera* asociadas y en monocultivo en un banco de forraje. *Revista Forestal Venezolana*, 54(2), pp. 161-167.
- Petit-Aldana, J., Casanova-Lugo, F. and Solorio-Sánchez, F.J., 2009. Asociación de especies arbóreas forrajeras para mejorar la productividad y el reciclaje de nutrientes. *Agricultura Técnica en México*, 35(1), pp. 113-122.
- Polo, E. A. and Moreno, Y., 2022. Producción y calidad de biomasa de la morera (*Morus alba*) bajo tres distancias de siembra y frecuencias de poda. *Revista Científica Semilla del Este*, 3(1), pp. 66-71.
- Quintanilla-Medina, J.J., López-Aguirre, D., Joaquín-Cancino, S., Vázquez-Armijo, J.F., López-Villalobos, N., Limas-Martínez, A.G., Estrada-Drouaillet, B., Martínez-González, J.C. and Hernández-Meléndez, J., 2020. *Moringa oleifera* Lam. leaf meal as a protein supplement for small ruminants in tropical conditions: Nutrient content at different harvest dates during the year. *Agroforestry Systems*, 94(4), pp. 1301-1306. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0320-9>
- Rodríguez, F.G. and Roncallo Fandiño, B., 2013. Producción de forraje y respuesta de cabras en crecimiento en arreglos silvopastoriles basados en *Guazuma ulmifolia*, *Leucaena leucocephala* y *Crescentia cujete*. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 14(1), 77-89. https://doi.org/10.21930/rcta.vol14_num1_art:345
- Rubio, E. E. S., Rodríguez, D. P., Reyes, L. O. and Buenfil, G. Z., 2004. Evaluación del potencial forrajero de árboles y arbustos tropicales para la alimentación de ovinos. *Técnica Pecuaria en México*, 42(2), pp. 129-144.
- Sánchez, N. R., Flores, F. P. and Vallecillo, M. R., 2008. Efecto de diferentes densidades de siembra y alturas de corte sobre la producción de biomasa y composición química de *Cratylia argentea*. *La Calera*, 8(9), pp. 60-66.
- Stür, W.W., Shelton, H.M. and Gutteridge, R.C., 1994. Defoliation management of forage tree legumes. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:128793447>
- Vera, J.C.K., Briceño, E.G., Ruiz, A., Mayo, R., Ayala, A.J. and Aguilar, C.F., 2014. Manipulación del metabolismo energético de los rumiantes en los trópicos: Opciones para mejorar la producción y la calidad de la carne y leche. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 48(1), pp. 43-53.
- Zapatier-Santillan, D.A., Meza-Bone, C.J., Avellaneda-Cevallos, J.H., Meza-Castro, M.T., Vivas A.W. and Meza-Bone, G.A., 2021. Evaluación agronómica y valor nutricional de la Morera (*Morus alba*). *Ciencia y Tecnología*, 14(1), pp. 85-93. <https://doi.org/10.18779/cyt.v14i1.447>