

FORRAJES NO-CONVENCIONALES: RECURSOS VEGETALES CON GRAN POTENCIAL PARA LA GANADERÍA DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN

NON-CONVENTIONAL FORAGES: PLANT RESOURCES WITH HIGH
POTENTIAL FOR LIVESTOCK PRODUCTION IN THE YUCATÁN
PENINSULA

Fernando Casanova-Lugo¹
Ricardo Lopes Dias da Costa²
Dixan Pozo-Leyva¹
José Escobedo-Mex³
Justo Ramón Enriquez-Nolasco^{4*}

¹Tecnológico Nacional de México campus I.T. de la Zona Maya,
Quintana Roo, México.

²Instituto de Zootecnia/Apta/SAA-SP, São Paulo, Brasil.

³Tecnológico Nacional de México campus I.T. de Conkal, Yucatán,
México.

⁴ El Colegio de la Frontera Sur - Unidad Villahermosa. 86280.
Carretera Villahermosa a Reforma Km 15.5, R/a Guineo 2da Sección.
Centro, Tabasco, México.

Correos:
fkzanov@gmail.com
rldcosta@sp.gov.br
dixan_pozo@yahoo.com
armando.ec@zonamaya.tecnm.mx
enriqznls@hotmail.com*

<https://orcid.org/0000-0003-2485-9170>
<https://orcid.org/0000-0001-8888-6915>
<https://orcid.org/0000-0002-3139-8512>
<https://orcid.org/0000-0002-4124-6184>
*<https://orcid.org/0000-0003-4498-6222>

FOLIO: A11N102.25/1018

Resumen

La península de Yucatán alberga una rica diversidad vegetal, incluyendo especies forrajeras no convencionales con alto potencial nutricional para la alimentación animal. Aunque poco aprovechadas en la ganadería comercial, estas plantas ofrecen ventajas ante la escasez de pastos y la baja fertilidad del suelo. Destacan leguminosas como *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium*, *Piscidia piscipula*, *Lysiloma latisiliquum* y *Clitoria ternatea*, así como especies no leguminosas como *Guazuma ulmifolia*, *Bursera simaruba*, *Tithonia diversifolia*, *Brosimum alicastrum*, *Hibiscus rosa-sinensis*, *Moringa oleifera* y *Morus alba*. Estas plantas presentan buena adaptación al clima regional y altos contenidos de proteína cruda (hasta 28.8%), con digestibilidades superiores al 60%, superando a muchos pastos tradicionales, especialmente durante la estación seca. Además, brindan beneficios agroecológicos como fijación de nitrógeno, provisión de sombra y mejoramiento del suelo. No obstante, para su aprovechamiento efectivo es necesario conocer su composición química y la presencia de compuestos antinutricionales, como los taninos. El Tecnológico Nacional de México, campus Zona Maya, ha realizado estudios bromatológicos que analizan fibra, cenizas, materia orgánica y digestibilidad. Aun así, se requiere más investigación sobre su manejo y conservación. Este trabajo respalda su uso racional para fomentar la autosuficiencia forrajera y una ganadería más sostenible en la región.

Palabras clave: Adaptación climática, especies nativas, sistemas sostenibles, valor nutricional.

Abstract

The Yucatán Peninsula harbors a rich plant diversity, including non-conventional forage species with high nutritional potential for animal feed. Although underutilized in commercial livestock production, these plants offer advantages in the face of pasture shortages and low soil fertility. Notable legumes include *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium*, *Piscidia piscipula*, *Lysiloma latisiliquum*, and *Clitoria ternatea*, as well as non-leguminous species such as *Guazuma ulmifolia*, *Bursera simaruba*, *Tithonia diversifolia*, *Brosimum alicastrum*, *Hibiscus rosa-sinensis*, *Moringa oleifera*, and *Morus alba*. These plants show good adaptation to the regional climate and contain high levels of crude protein (up to 28.8%), with digestibility values above 60%, outperforming many traditional grasses, especially during the dry season. Additionally, they offer agroecological benefits, including nitrogen fixation, shade provision, and soil improvement. However, effective utilization requires knowledge of their chemical composition and the presence of antinutritional compounds, such as tannins. The National Technological Institute of Mexico, Zona Maya campus, has conducted bromatological analyses evaluating fiber, ash, organic matter, and digestibility. Still, further research on their management and conservation is needed. This work supports their rational use to promote forage self-sufficiency and more sustainable livestock production in the region.

Keywords: Climate adaptation, native species, sustainable systems, nutritional value

La península de Yucatán (PY), región ubicada en el sureste de México, se caracteriza por su biodiversidad y riqueza ecológica, incluye una amplia variedad de especies vegetales que han sido empleadas tradicionalmente en la alimentación animal. Entre estas especies, destacan aquellas consideradas no-convencionales, las cuales, a pesar de no ser ampliamente empleadas en sistemas ganaderos comerciales, poseen un potencial nutricional significativo para la dieta de los animales. Estas forrajeras no-convencionales representan una alternativa viable para mejorar la alimentación del ganado, especialmente en regiones donde los recursos forrajeros convencionales (i.e., pastos), son escasos o estacionales (Alavez López, 1983; Pozo-Leyva et al., 2024). El estudio de los atributos nutricionales de estas especies vegetales es fundamental para entender su contribución a la dieta de los rumiantes, ya que su composición química, digestibilidad (es decir, la facilidad con que los nutrientes de la planta pueden ser aprovechados por el animal) y contenido de nutrientes pueden variar considerablemente. Factores como el contenido de proteína cruda, fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina, y minerales son determinantes en la evaluación de su calidad nutricional. Además, la presencia de metabolitos secundarios (compuestos químicos que producen las plantas y que no son esenciales para su crecimiento, pero sí pueden influir en la digestión, como los taninos) puede influir en la digestibilidad y utilización de los nutrientes por parte de los animales (Ayala-Burgos et al., 2006).

En la PY, algunas especies vegetales no-convencionales han sido identifica-

das como potenciales recursos forrajeros entre las que destacan algunas leguminosas como: *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium*, *Piscidia piscipula*, *Lysiloma latisiliquum*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Clitoria ternatea*, *Albizia lebbbeck*, y otras especies no-leguminosas como: *Guazuma ulmifolia*, *Brosimum alicastrum*, *Bursera simaruba*, *Tithonia diversifolia*, *Morus alba*, *Hibiscus rosa-sinensis* y *Moringa oleifera*, estas tres últimas originarias del continente Asiático, pero que se han introducido exitosamente a la PY (Moreno-Calles et al., 2013, Casanova-Lugo et al., 2025). Estas especies han demostrado adaptabilidad a las condiciones climáticas y edáficas de la región, lo que las convierte en alternativas prometedoras para la suplementación alimenticia en sistemas ganaderos sostenibles. Sin embargo, es necesario profundizar en el conocimiento de sus atributos nutricionales y antinutricionales (características de la planta que pueden favorecer o, en exceso, limitar la nutrición del animal) para optimizar su uso y garantizar una alimentación balanceada y eficiente para los rumiantes (Ayala-Burgos et al., 2006; Canul-Solís et al., 2020).

El presente trabajo tiene como objetivo analizar los principales atributos nutricionales de algunas especies forrajeras no-convencionales, destacando su composición química, digestibilidad y potencial impacto en la alimentación de rumiantes en la PY. Este análisis contribuirá a la generación de estrategias alimenticias que promuevan la sostenibilidad de los sistemas ganaderos en la región, reduciendo la dependencia de insumos externos y aprovechando los recursos locales disponibles.

Desarrollo

Los forrajes no-convencionales de la PY

En la PY, los sistemas ganaderos enfrentan desafíos como la variabilidad climática, la estacionalidad de los pastos y la baja fertilidad de los suelos, lo que ha impulsado la búsqueda de alternativas alimenticias más resilientes. En este contexto, los

forrajes no convencionales representan una opción clave para complementar la dieta del ganado (Moreno-Calles et al., 2014; Casanova-Lugo et al., 2025) y se distinguen por su capacidad de adaptación a suelos pobres y condiciones climáticas

extremas, lo que permite su aprovechamiento sin necesidad de insumos adicionales. Desde una perspectiva agroecológica, estas plantas no solo cumplen una función alimenticia, sino que también contribuyen a la sostenibilidad de los sistemas productivos. Su diversidad taxonómica (es decir, la clasificación de las especies de acuerdo a sus características biológicas) y funcionalidad ecológica contribuyen a la estabilidad de los ecosistemas agropecuarios, ofreciendo diversos beneficios como la fijación de nitrógeno en el suelo (en el caso de las leguminosas) y la provisión de sombra y materia orgánica a través de la caída de hojarasca (Casanova-Lugo et al., 2025).

El conocimiento empírico sobre el uso de estas especies ha sido transmitido por generaciones en comunidades rurales del sureste de México, donde tradicionalmente se han empleado como alimento complementario para rumiantes. En muchas localidades, este conocimiento convive con otras prácticas agrícolas tradicionales, como el cultivo y uso de especies de interés etnobotánico no forrajero, por ejemplo, el achiote (*Bixa orellana* L.), empleado ampliamente como colorante y condimento. Aunque el achiote no se considera una especie forrajera, su cultivo refleja la riqueza de saberes locales y el manejo de múltiples recursos vegetales con distintos fines (Figura 1). Sin embargo, la integración de estos forrajes en sistemas de producción ganadera a mayor escala requiere estudios detallados sobre su valor nutricional, métodos de conservación y formas de suplementación óptimas. A pesar de su potencial, es importante considerar que algunos de estos forrajes contienen diversos compuestos que pueden afectar la digestibilidad y el metabolismo del ganado si no se administran adecuadamente. Por ello, la investigación científica desempeña un papel clave en la identificación de estrategias que maximicen sus beneficios y minimicen sus limitaciones.



Figura 1. Mujer local retirando las semillas de *Bixa orellana* L. (achiote) utilizadas en la preparación de marquetas de condimento, ejemplo del conocimiento etnobotánico en la región. Fotografía: Justo R. Enríquez-Nolasco.

El Tecnológico Nacional de México (TecNM) campus IT de la Zona Maya (Quintana Roo) ha contribuido a la caracterización nutricional de diversas especies empleadas en la alimentación de rumiantes a través del Laboratorio de Estudios Avanzados en Agroecosistemas. Entre las especies forrajeras no-convencionales que han sido analizadas y estudiadas se encuentran: *Bauhinia alicastrum*, *Bursera simaruba*, *Clitoria ternatea*, *Gliricidia sepium*, *Guazuma ulmifolia*, *Hibiscus rosa-sinensis*, *Leucaena leucocephala*, *Lysiloma latisiliquum*, *Moringa oleifera*, *Piscidia piscipula* y *Tithonia diversifolia* (Figura 2), y sus características botánicas generales se describen en la Tabla 1, de acuerdo a la Flora digital del CICY (<https://www.cicy.mx/sitios/flora%20digital>) y Flora Mesoamericana (<http://legacy.tropicos.org/Project/FM>).



Figura 2. Representación de las especies forrajeras no convencionales utilizadas en la alimentación de rumiantes en la península de Yucatán., a: *Bursera simaruba* (L.) Sarg, b: *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp, c: *Guazuma ulmifolia* Lam, d: *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, e: *Lysiloma latisiliquum* (L.) Benth, f: *Moringa oleifera* Lam, g: *Piscidia piscipula* (L.) Sarg, h: *Tithonia diversifolia*

Tabla 1. Características botánicas generales de algunas especies no-convencionales utilizadas en la alimentación de rumiantes en la península de Yucatán. Origen biogeográfico en la PY: NA, nativa; CU, cultivado. Tipo de hábito: AR, Árbol; AB, Arbusto. Fuente: Elaboración propia

Familia botánica	Nombre científico	Nombre en español	Nombre maya	Origen biogeográfico en la PY	Tipo de hábito
Asteraceae	<i>Tithonia diversifolia</i> (Hemsl.) A. Gray.	Árnica	Su'um, su'un k'aak	NA, CU	AR
Burseraceae	<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	Palo mulato	Chakaj	NA	AB
Fabaceae	<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit.	Tumbapelo	Waaxim	NA, CU	AR
Fabaceae	<i>Clitoria ternatea</i> L.	Campanita azul	-	NA, CU	AB
Fabaceae	<i>Piscidia piscipula</i> (L.) Sarg.	Jabín	Ja'abin	NA	AR
Fabaceae	<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Kunth ex Walp.	Madre cacao	Sak-yab	NA, CU	AR
Fabaceae	<i>Lysiloma latisiliquum</i> (L.) Benth.	Tzalam	tsalam	NA	AR
Malvaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Guásimo	pixoy	NA	AR
Malvaceae	<i>Hibiscus rosa-sinensis</i> L.	Tulipan	-	CU	AB
Moraceae	<i>Morus alba</i> L.	Morera	-	CU	AR
Moraceae	<i>Brosimum alicastrum</i> Sw.	Ramón	k'an oox	NA	AR
Moringaceae	<i>Moringa oleifera</i> Lam.	Moringa	-	CU	AR

En la mayoría de los casos, la calidad de la biomasa comestible de las especies forrajeras no-convencionales supera a la calidad de los pastos tradicionales.

Tabla 2. Contenidos (%) de proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), cenizas (Cen), materia orgánica (MO), y digestibilidad de la materia seca (DMS, %), de algunas especies forrajeras no-convencionales utilizadas en la alimentación de rumiantes en la península de Yucatán. Material analizado: Hojas (H) y Tallos tiernos (Tt).

Especies	Material	PC	FDN	FDA	Cen	MO	DMS
<i>T. diversifolia</i>	H + Tt	21.4	44.3	26.6	13.3	83.7	68.2
<i>B. simaruba</i>	H	10.3	51.3	32.2	10.1	86.9	63.8
<i>L. leucocephala</i>	H + Tt	22.8	44.8	28.4	7.7	90.3	66.8
<i>C. ternatea</i>	H + Tt	14.7	52.8	37.1	6.0	91.0	60.0
<i>P. pispicula</i>	H	15.6	41.5	30.2	10.4	85.8	65.3
<i>G. sepium</i>	H	16.3	44.7	29.9	6.6	88.4	65.6
<i>L. latisiliquum</i>	H	16.2	45.7	28.6	13.6	82.9	66.6
<i>G. ulmifolia</i>	H + Tt	13.6	45.3	29.5	9.0	88.0	65.9
<i>H. rosa-sinensis</i>	H	14.7	46.4	30.2	8.7	85.9	65.4
<i>M. alba</i>	H + Tt	12.0	44.9	28.5	9.8	90.2	66.7
<i>B. alicestrum</i>	H	14.6	40.7	28.5	14.3	85.6	67.5
<i>M. oleífera</i>	H	18.1	42.0	24.4	8.9	87.7	69.8

Además, estas especies mantienen su calidad durante la estación seca, cuando los pastos muestran una limitada disponibilidad y baja calidad (Casanova-Lugo et al., 2014). De hecho, algunas especies pueden alcanzar o superar la calidad de los concentrados comerciales, lo que demuestra su potencial en la alimentación animal (Pozo-Leyva et al., 2024). Al respecto, especies de leguminosas como *L. leucocephala*, *C. ternatea*, *P. pispicula*, *G. sepium* y *L. latisiliquum*, generalmente poseen altos contenidos de proteína que van de 14.7 a 28.8%; digestibilidades que oscilan de 60 a 66.8%, entre otros atributos nutricionales. No obs-

tante, las especies no-leguminosas también mantienen excelentes concentraciones de proteína que van de 10.3 a 21.4 % y digestibilidades que oscilan de 63.8 a 69.8 % (Tabla 2). A pesar de lo anterior, es importante reconocer que la composición bromatológica de estas especies está influenciada por el tipo de material (i.e., hojas, tallos tiernos o una combinación de ambas fracciones comestibles), el manejo agronómico, la edad de la planta, el tipo de suelo, el clima, entre otros factores.

En el TecNM se ha estudiado el comportamiento agronómico de estas especies forrajeras no-con convencionales de gran potencial en la PY (Figura 3). Por ejemplo, se han establecido diversas parcelas experimentales en Yucatán y Quintana Roo con la finalidad de definir densidades de siembra, alturas de cosecha e intervalos de cosecha óptimos para el manejo sostenido de la producción de dichos recursos forrajeros con excelentes resultados (Casanova-Lugo et al., 2018; Ramos-Trejo et al., 2020; Uu-Espens et al., 2022). Asimismo, se ha evaluado la respuesta productiva de dichas especies en diferentes épocas del año, bajo distintas condiciones edáficas y en combinaciones con gramíneas en sistemas silvopastoriles (Toledo & Barrera-Bassols, 2008; Casanova-Lugo et al., 2014; Villanueva-Partida et al., 2019; Uu-Espens et al., 2022). También, se ha evaluado la inclusión de algunas especies forrajeras no-con convencionales como parte de las dietas de rumiantes sobre la ganancia diaria de peso en rumiantes, la producción y calidad de leche en bovinos criollos y la reducción de las emisiones de metano al ambiente con alentadores hallazgos (Villanueva-Partida et al., 2019; Pozo-Leyva et al., 2024).

A pesar de lo anterior, se ha señalado que estas especies poseen diversos compuestos anti-nutricionales, producto de su metabolismo secundario, que podrían ocasionar efectos negativos en el comportamiento productivo de los animales (Canul-Solís et al., 2020). Por ejemplo, se ha observado una reducción en el consumo de materia seca de los animales debido a la presencia de taninos condensados en la biomasa comestible de la mayoría de las especies forrajeras no-con convencionales (Piñeiro-Vázquez et al., 2018). Además, el consumo frecuente de estos forrajes no-con convencionales con altas concentraciones de taninos puede generar cambios en las poblaciones de microorganismos del rumen, limitando la absorción de nutrientes (Canul-Solís et al., 2020). A pesar de lo anterior, investigaciones recientes han demostrado que algunos metabolitos como los taninos y las saponinas (compuestos vegetales que producen espuma al contacto con agua y que también influyen en la digestión) tienen el potencial de reducir las emisiones de metano entérico (gas producido durante la digestión del ganado, con fuerte impacto ambiental) en rumiantes (Piñeiro-Vázquez et al., 2018).

Como es bien sabido, el metano tiene un potencial de calentamiento global 23 veces mayor que el dióxido de carbono y representa una pérdida del 5 al 18% de energía bruta consumida por rumiantes. Sin embargo, esta proporción podría ser más alta en animales alimentados con dietas de baja calidad, como es el caso de la PY, donde la mayoría de las unidades de producción animal dependen en gran medida de los pastos (Pozo-Leyva et al., 2024). Los metabolitos secundarios están presentes en el follaje y frutos de las especies forrajeras no-con convencionales, tales como *G. sepium* y *E. cyclocarpum*, *L. leucocephala*, *L. latisiliquum*, por mencionar algunas (Nair et al., 2010; Piñeiro-Vázquez et al., 2018).



Figura 3. Especies forrajeras no-con convencionales cultivadas en la península de Yucatán. *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (a), *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray (b), *Morus alba* L. (c), *Clitoria ternatea* L. (d), *Moringa oleifera* Lam. (e) en bancos de forraje, y pasturas en callejones de *L. leucocephala* (f). Fotografías: Fernando Casanova-Lugo

Finalmente, será importante plantear estudios que demuestran el potencial productivo de las especies forrajeras no-convencionales a largo plazo, la caracterización cuantitativa de los metabolitos

secundarios y su potencial en la mitigación de gases efecto invernadero bajo las condiciones edafoclimáticas de la PY.

Consideraciones finales

Las especies forrajeras no-convencionales representan un recurso valioso y poco explotado en los sistemas ganaderos comerciales de la PY. Su adaptabilidad a las condiciones climáticas y edáficas de la región las convierte en una alternativa viable para mejorar la producción animal, especialmente en zonas con limitaciones para el cultivo de forrajes tradicionales. Además, la incorporación de estas especies en los sistemas de producción animal puede aumentar la diversidad de la dieta del ganado, mejorar la resiliencia de los

sistemas agropecuarios frente a cambios climáticos y reducir la dependencia de insumos externos, como alimentos concentrados. El uso de especies forrajeras no-convencionales puede contribuir a la conservación del suelo, la reducción de la deforestación y la mitigación del cambio climático, ya que muchas de estas especies son tolerantes a condiciones adversas y requieren menos recursos hídricos e insumos químicos.

Conclusión

En la actualidad, la adopción de estas especies enfrenta serios desafíos, como la falta de conocimiento técnico, la escasa disponibilidad de semillas o material vegetativo y la resistencia al cambio por parte de los productores. Por lo que es necesario realizar programas de capacitación y difusión para promover su uso generalizado. Asimismo, se requiere mayor investigación para caracterizar estas especies, evaluar su valor nutricional, establecer prácticas de manejo adecuadas y desarrollar tecnologías para su cultivo y conservación. En este sentido, la colaboración entre

instituciones académicas, gobiernos y productores será clave para llevar a buen puerto la adopción de estas especies.

En conclusión, las especies forrajeras no-convencionales representan una gran oportunidad para fortalecer la producción animal en la PY, siempre y cuando se consideren los desafíos técnicos, sociales y económicos que limitan su adopción. Su aprovechamiento responsable puede contribuir a la seguridad alimentaria, la sostenibilidad ambiental y el desarrollo económico de la región.

Declaración de privacidad

Los datos personales facilitados por los autores a RD-ICUAP se usarán exclusivamente para los fines declarados por la misma, no estando disponibles para ningún otro propósito ni proporcionados a terceros.

Declaración de no conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de interés alguno

Agradecimientos

Se agradece a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca otorgada para estudios de posgrado (Convocatoria Becas Nacionales 2025-2) del quinto autor.

Los autores manifestamos nuestro agradecimiento al Tecnológico Nacional de México (TecNM), campus IT de la Zona Maya, por las facilidades brindadas para el uso de las instalaciones y equipos del Laboratorio de Estudios Avanzados en Agroecosistemas. Asimismo, al TecNM por el financiamiento al proyecto "Sistemas agroforestales tradicionales y sus servicios ecosistémicos en el sureste de México (Clave: 22856.25-P)". También agradecemos a la Ing. Elda Carolina Yam Chalé, por el apoyo técnico en la elaboración de los análisis bromatológicos.

Referencias

- Álavez López, S. (1983). Estudio preliminar de los cercos vivos en la ganadería de Teapa, Tabasco: Manejo de árboles en los potreros, una técnica silvopastoril (Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Bosques).
- Ayala-Burgos, A., Cetina-Góngora, R., Capetillo-Leal, C., Zapata-Campos, C., & Sandoval-Castro, C. (2006). Composición química-nutricional de árboles forrajeros (56 pp.). Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. https://www.researchgate.net/publication/277141987_Composicion_Quimica_Nutricional_de_Arboles_Forrajeros.
- Canul-Solís, J., Campos-Navarrete, M., Piñeiro-Vázquez, A., Casanova-Lugo, F., Barros-Rodríguez, M., Chay-Canul, A., Cárdenas-Medina, J., & Castillo-Sánchez, L. (2020). Mitigation of rumen methane emissions with foliage and pods of tropical trees. *Animals*, 10(5), 843. <https://doi.org/10.3390/ani10050843>
- Casanova-Lugo, F., Petit-Aldana, J., Solorio-Sánchez, F.J., Parsons, D., & 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, 29-39. <https://doi.org/10.1007/s10457-013-9652-7>
- Casanova, F., Cetzal, W., Díaz, V., Chay, A., Oros, I., Piñeiro, A., & González, N. (2018). *Moringa oleifera* Lam. (Moringaceae): Árbol exótico con gran potencial para la ganadería ecológica en el trópico. *Agroproductividad*, 11(2), 100-105.
- Casanova-Lugo, F., Gutiérrez-López, A., Jiménez-Hernández, H., Quezada-Raya, G., Enríquez-Nolasco, J., & Cetzal-Ix, W. (2025). Especies arbóreas forrajeras de la península de Yucatán: una opción para diversificar los agroecosistemas. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 12(1), <https://doi.org/10.19136/era.a12n1.4138>
- Moreno-Calles, A. I., Toledo, V. M., & Casas, A. 2013. Los sistemas agroforestales tradicionales de México: Una aproximación biocultural. *Botanical Sciences*, 91(4), 375-398. <https://doi.org/10.17129/botsoci.419>.

- Moreno-Calles, A. I., Galicia-Luna, V. J., Casas, A., Toledo, V. M., Vallejo-Ramos, M., Santos-Fita, D., Camou-Guerrero, A., & López-Martínez, W. 2014). Etnoagroforestería: el estudio de los sistemas agroforestales tradicionales de México. *Etnobiología*, 12(3). Recuperado de <https://www.revistaetnobiologia.mx/index.php/etno/article/view/167>.
- Nair, P.R., Mohan Kumar, B., & Nair, V. D. 2009. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *Journal of plant nutrition and soil science*, 172(1), 10-23.<https://doi.org/10.1002/jpln.200800030>
- Piñeiro-Vázquez, A.T., Canul-Solís, J.R., Jiménez-Ferrer, G.O., Alayón-Gamboa, J.A., Chay-Canul, A.J., Ayala-Burgos, A.J., Aguilar-Pérez, C.F., & Ku-Vera, J.C. (2018). Effect of condensed tannins from *Leucaena leucocephala* on rumen fermentation, methane production and population of rumen protozoa in heifers fed low-quality forage. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, 31(11), 1738-1746. doi: 10.5713/ajas.17.0192.
- Pozo-Leyva, D., Casanova-Lugo, F., López-González, F., Celis-Álvarez M. D., Cruz-Tamayo A. A., Canul-Solis, J. R., & Chay-Canul, A. J. (2024) Impact of diversified grazing systems on milk production, nutrient use and enteric methane emissions in dual-purpose cows. *Tropical Animal Health and Production*, 56, 140.<https://doi.org/10.1007/s11250-024-03989-x>
- Ramos-Trejo, O. S., Canul-Solís, J. R., Alvarado-Canché, A., Castillo-Sánchez, L. E., Sandoval-Gfo, J. J., Campos-Navarrete, M. J., Piñeiro-Vázquez, A. T., Chay-Canul, A. J., & Casanova-Lugo, F. (2020) Growth, forage yield and quality of *Morus alba* L. and *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp. in mixed and pure fodder bank systems in Yucatan, Mexico. *Agroforestry Systems*, 94, 151-157.<https://doi.org/10.1007/s10457-019-00378-4>
- Uu-Espens, C., Canul-Solís, J. R., Chay-Canul, A. J., Piñeiro-Vázquez, Á. T., Villanueva-López, G., Aryal, D. R., Pozo-Leyva, D., & Casanova-Lugo, F. (2022). Seasonal variation in biomass yield and quality of *Tithonia diversifolia* at different cutting heights. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 9(3), e3252.<https://doi.org/10.19136/era.a9n3.3252>

Villanueva-Partida, C. R., Díaz-Echeverría, V. F., Chay-Canul, A. J., Ramírez-Avilés, L., Casanova-Lugo, F., & Oros-Ortega, I. (2019). Comportamiento productivo e ingestivo de ovinos en crecimiento en sistemas silvopastoriles y de engorda en confinamiento. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10(4), 870-884.<https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i4.4724>

Toledo, V. M., & Barrera-Bassols, N. 2008. La memoria biocultural: la importancia ecológica de las sabidurías tradicionales. Icaria Editorial. Perspectivas Agroecológicas, Barcelona, España

Villanueva-Partida, C. R., Díaz-Echeverría, V. F., Chay-Canul, A. J., Ramírez-Avilés, L., Casanova-Lugo, F., & Oros-Ortega, I. (2019). Comportamiento productivo e ingestivo de ovinos en crecimiento en sistemas silvopastoriles y de engorda en confinamiento. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10(4), 870-884.<https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i4.4724>

Toledo, V. M., & Barrera-Bassols, N. 2008. La memoria biocultural: la importancia ecológica de las sabidurías tradicionales. Icaria Editorial. Perspectivas Agroecológicas, Barcelona, España