



COMPOSICIÓN QUÍMICA Y DEGRADABILIDAD *in situ* DEL TAMARINDO (*Tamarindus indica* L.)

CHEMICAL COMPOSITION AND *in situ* DEGRADABILITY OF TAMARIND (*Tamarindus indica* L.)

Oziel D. Montañez-Valdez¹, Cándido E. Guerra-Medina^{1,2}, Miguel Chávez-Espinoza¹, José A. Reyes-Gutiérrez¹, Ricardo Vicente-Pérez⁴ y Alejandro Ley de Coss^{3*}

¹Universidad de Guadalajara, Grupo de Investigación en Nutrición Animal, Centro Universitario del Sur. Ciudad Guzmán, Jalisco, México. ²INIFAP, Centro de Investigación del Pacífico Sur. Tuxtla Chico, Tapachula, Chiapas, México. ³Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad de Ciencias Agronómicas, Campus V. Villaflores, Chiapas, México. ⁴Universidad de Guadalajara, Departamento de Producción Agrícola-CUCSUR. Autlán, Jalisco, México.

*Autor para correspondencia: aleycoss@gmail.com

RESUMEN

México es uno de los principales productores de tamarindo (*Tamarindus indica* L.) en el mundo y Jalisco se encuentra entre los estados con mayor producción anual. Sin embargo, gran parte de la producción no es cosechada, debido a un bajo precio de venta o por no cumplir los estándares de calidad en las empresas alimenticias, por lo que un volumen importante se desecha anualmente. El objetivo de este estudio fue evaluar la composición química y degradabilidad *in situ* del fruto de tamarindo, como posible ingrediente no convencional para ser utilizado en dietas para rumiantes. Se determinó la composición química y digestibilidad *in situ* (DIS) de la materia seca (MS) al fruto completo maduro (FCM), pulpa sin semilla y cáscara (PSC) y cáscara del fruto en estado maduro (CFM). Para la DIS se utilizaron dos novillos Holstein con cánula ruminal permanente, para incubar por cuadruplicado cada uno de los tratamientos experimentales durante 4, 8, 16, 24, 48 y 72 h. El porcentaje de MS, proteína cruda (PC) y extracto etéreo (EE) no fue diferente entre tratamientos ($P > 0.05$); sin embargo, las cáscaras mostraron un mayor contenido de MO y de paredes celulares, en comparación con FCM y PSC que mostraron valores menores. La degradabilidad *in situ* de la MS mostró diferencias entre los tratamientos ($P > 0.05$), donde la pulpa de tamarindo tuvo los valores más altos, seguido del FCM y CFM, debido a una mayor disponibilidad de los carbohidratos contenidos en la pulpa. De acuerdo con su composición química y digestibilidad, el fruto completo y pulpa de tamarindo son una alternativa como ingrediente no convencional para la alimentación de rumiantes.

Palabras clave: Alimento no convencional, frutos, nutrientes, rumiantes.

SUMMARY

Mexico is one of the main producers of tamarind (*Tamarindus indica* L.) in the world and Jalisco is among the states with the highest annual production. However, a large part of the production is not harvested due to a low sale price or because it does not meet the quality standards of food companies, so a significant volume is discarded annually. The objective of this study was to evaluate the chemical composition and *in situ* degradability of the tamarind fruit as a possible non-conventional ingredient to be used in ruminant diets. The chemical composition and *in situ* digestibility (DIS) of the dry matter (DM) of the whole fruit (WF), seedless pulp and shell (PSS) and mature fruit shell (RFS) were determined. For DIS, two Holstein steers with permanent ruminal cannula were used to incubate in quadruplicate each of the experimental

treatments for 4, 8, 16, 24, 48 and 72 h. The percent DM, crude protein, and protein content were calculated for each treatment. The percentage DM, crude protein (CP) and ethereal extract (EE) were not different among treatments ($P > 0.05$); however, shells showed higher OM and cell walls content, compared to WF and PSS that showed lower values. *In situ* DM degradability showed differences among treatments ($P > 0.05$), where tamarind pulp had the highest values, followed by WF and RFS, due to a higher availability of the carbohydrates contained in the pulp. According to its chemical composition and digestibility, the whole fruit and pulp of tamarind are an alternative as non-conventional feed ingredient for ruminant.

Index words: fruit, non-conventional feed, nutrients, ruminants.

INTRODUCCIÓN

El uso de ingredientes no convencionales como residuos culinarios, proteínas aisladas de leche, residuos de vegetales y frutos en la alimentación del ganado es bien conocido, pero a pesar de su potencial son pocos los productores que manejan estos insumos en forma sistemática para la alimentación de sus animales (Correddu *et al.*, 2020). Además, existen otros forrajes o ingredientes no convencionales, como tamarindo, naranja y guayaba, que son utilizados para la elaboración de refrescos, dulces, jarabes y jaleas, de los cuales sólo el desecho del procesamiento industrial y los residuos de cosecha son destinados como alimento complementario para los rumiantes y no rumiantes (Viveros *et al.*, 2012; Amaral *et al.*, 2022).

El tamarindo (*Tamarindus indica* L.) pertenece a la familia *Fabaceae*, cultivo de fácil adaptación, resistente a la sequía, pero no tolera las heladas, originario de África tropical y actualmente se encuentra en 54 países (El-Siddig *et al.*, 2006; Aguilar *et al.*, 2021). Su fruto contiene entre 30 y 40 % de azúcares y hasta 11 % de ácidos orgánicos tales como cítrico, acético, ascórbico (vitamina C) y principalmente tartárico, pectina, vitaminas y minerales.

También, en semillas se ha reportado la presencia de compuestos secundarios como alcaloides, saponinas, compuestos fenólicos totales y taninos, que pueden alcanzar concentraciones de hasta 7.1 ± 0.31 % de materia seca; además, se le considera como una planta medicinal con actividad antioxidante, con diversos usos en la salud humana e incluso con potencial para ser utilizado en la alimentación animal (Wang *et al.*, 2017; Souza *et al.*, 2018; Borquaye *et al.*, 2020).

México es el octavo productor de tamarindo a nivel mundial, con el 4.05 % de la producción en 2022 y los municipios de la costa sur de Jalisco son los principales productores en el país, con el 38.51 % del total anual (SIAP, 2023; Tridge, 2023). El tamarindo, por su fácil adaptación y resistencia a la sequía, forma parte de los agroecosistemas tropicales como fuente de alimento para el ganado y complemento de los ingresos de los productores agropecuarios (Viveros *et al.*, 2012; SADER, 2021). La producción de tamarindo generalmente se destina para consumo directo o para la preparación de bebidas por industria alimenticia; sin embargo, durante las épocas de mayor producción, gran parte de este fruto se queda en las huertas, debido al precio de venta bajo o es producto que no cumple con los estándares de calidad solicitado por la empresa, por lo que su cosecha no es viable económicamente. Existen investigaciones que se han enfocado a conocer las ventajas o desventajas de la utilización de los residuos de tamarindo (semillas y cáscaras), pero, son pocos los estudios dirigidos a la utilización del fruto de tamarindo en la alimentación de rumiantes a nivel mundial y casi nulos a nivel nacional, a pesar del potencial de esta leguminosa (Viveros *et al.*, 2012; Galvão *et al.*, 2020; Borquaye *et al.*, 2020; Aguilar *et al.*, 2021). Por lo tanto, es necesario generar información de sus valores nutritivos y parámetros de digestibilidad del fruto de tamarindo, para que este sea integrado como una opción en la alimentación de rumiantes y, a la vez, una alternativa de comercialización para los productores de tamarindo. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar la composición química y degradabilidad *in situ* del fruto de tamarindo (*Tamarindus indica* L.).

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección y preparación de las muestras experimentales

La recolección de tamarindo se realizó en la localidad de Tequesquilán, municipio de Cuautitlán de García Barragán, Jalisco, México, con coordenadas $19^{\circ} 38' 66''$ O y $104^{\circ} 51' 91''$ N y una altitud de 480 msnm (INEGI, 2018). El clima de la región es semiseco, con invierno y primavera secos y cálidos, sin estación invernal definida.

Su temperatura media anual es de 23.5°C y tiene una precipitación media anual de 1,652 mm. El área de cultivo es de aproximadamente 10 ha, con una cantidad de 1,100 árboles de tamarindo.

Muestra de trabajo

Se seleccionaron al azar 20 árboles y se recolectó de cada uno de ellos aproximadamente un kilogramo de fruto, procurando que estuvieran completos o con poco daño en la cáscara, para evitar contaminación de la muestra. Las muestras se homogenizaron y se tomó una muestra representativa de seis kilogramos. De esta muestra se tomó lo necesario para completar un kilogramo de fruto completo maduro (FCM), uno de pulpa sin semilla y cáscara (PSC) y otro más de cáscara del fruto en estado maduro (CFM), teniendo así tres tratamientos y de cada uno se sacaron cuatro repeticiones. Las muestras se llevaron para su análisis al Laboratorio de Nutrición Animal del Centro Universitario del Sur de la Universidad de Guadalajara.

Análisis químicos

Las muestras experimentales se secaron en una estufa de aire forzado a 55°C por 48 horas y posteriormente se trituraron en un molino de martillos marca Wiley con criba de 2 mm, para su análisis posterior. Por cuadruplicado se determinó la materia seca total (MST), proteína cruda (PC) mediante el método Kjeldahl, extracto etéreo (EE) por el método Soxhlet, fibra cruda (FC) por el método de Weende, cenizas por combustión en mufla a 600°C (C) y materia orgánica (MO) por diferencia, todos mediante las técnicas descritas por la AOAC (2012). Las determinaciones de las fracciones de fibra (FDN y FDA) se realizaron con el método de Van Soest *et al.* (1991). Se determinó el contenido de carbohidratos no fibrosos (CNF) mediante la ecuación $[100 - (\text{FDN, \%} + \text{PC, \%} + \text{EE, \%} + \text{C, \%})]$, de acuerdo con Weiss (1999), sin corrección de proteína. La energía metabolizable (EM) por kilogramo de materia seca se calculó de acuerdo con Weiss (1993).

Digestibilidad *in situ* (DIS)

La fase experimental se realizó en el rancho "Agropecuaria los Becerras", ubicado en el Municipio de Zapotlán El Grande, Jalisco, México, con coordenadas $19^{\circ} 27' 13''$ N y $103^{\circ} 27' 57''$ O y con una altitud de 1520 msnm (INEGI, 2018). El clima de la región es semicálido, con una precipitación pluvial anual de 732 mm y una temperatura media anual de 20.2°C . Para determinar la DIS de la MS de los tres tratamientos del fruto del tamarindo, de acuerdo con la metodología propuesta por Vanzant *et al.* (1998), se utilizaron dos novillos Holstein con peso vivo de 350

± 43 kg, fistulados con cánula ruminal permanente de 10 cm de diámetro central (Bar Diamond Lane, Parma, ID, USA). Las condiciones experimentales de los animales se apegaron a la norma oficial mexicana de especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de animales de laboratorio (NOM-062-ZOO-1999). Los animales se alimentaron con 70 % de heno de alfalfa y 30 % de concentrado comercial al 12 % de PC, durante todo el periodo experimental. Se utilizaron bolsas de poliseda de 10×15 cm con un tamaño de poro de 52 ± 10 μ m previamente identificadas, en las cuales se depositaron 5 g de muestra. Las bolsas se cerraron con ligas de hule, se sujetaron a una cadena utilizando hilo de nylon y se incubaron en el rumen por cuadruplicado para cada tratamiento por 4, 8, 16, 24, 48 y 72 h; también se colocaron bolsas testigo (blancos) sin muestra, en cada tiempo de incubación. Las bolsas se depositaron secuencialmente, con el fin de que todas se removieran al mismo tiempo. Posteriormente, las bolsas se lavaron con agua potable hasta que el agua de lavado se tornara clara. Se dejaron secar a temperatura ambiente y después en estufa de aire forzado a 55 °C por 48 h; posteriormente se registró su peso y se determinó la digestibilidad de la materia seca.

Diseño y análisis estadístico

Los datos obtenidos de la composición química y la degradabilidad *in situ* se analizaron mediante un diseño completamente al azar, con cuatro repeticiones por tratamiento. Se utilizó el procedimiento PROC GLM del paquete estadístico SAS (2011) y comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). Se realizó la prueba de Shapiro-Wilk mediante PROC UNIVARIATE de SAS (2011), donde la distribución de los datos se verificó y se consideró que todos tenían una distribución normal ($P > 0.81$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza (Cuadro 1) mostró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($P \leq 0.01$) para todas las variables, excepto para MS, en la cual no hubo diferencias significativas ($P < 0.05$).

Los resultados de la composición química en el análisis de medias se presentan en el Cuadro 2. El porcentaje de MS, PC y EE fueron similares entre los tratamientos ($P > 0.05$); sin embargo, las cáscaras mostraron un mayor contenido de MO y de paredes celulares (FDA, FDN y hemicelulosa), en comparación con FCM y PSC, que mostraron valores menores.

Wang *et al.* (2017) reportan que, en residuos de extracto de polvo de semilla de tamarindo, los valores de MS, MO y

PC son de 89.20, 95.80 y 5.80 %, respectivamente, valores similares a los encontrados en este estudio. Estos mismos autores reportan un contenido de CNF de 22.9 %, el cual es mayor a los encontrado en CFM, pero menores a las concentraciones encontradas en fruto maduro y pulpa sin semilla ni cáscara.

En pulpa de tamarindo se han encontrado concentraciones de MS desde el 84.80 hasta el 94.20 % y de MO del 80.85 al 89.19 %, con contenidos de PC de 1.90 a 3.10 % (Suliman *et al.*, 2015). Taha *et al.* (2016) reportan contenidos de MS de 83.27 % y 2.13 % de PC, valores similares a los encontrados en este estudio en cuanto a MS y MO, pero por debajo en cuanto a la concentración de PC encontrada en PSC. Geron *et al.* (2015) en residuos de la extracción de pulpa de tamarindo reportan 8.25 % de PC, valores superiores a los encontrados en este estudio. En cuanto al contenido de extracto etéreo, Suliman *et al.* (2015) reportan concentraciones de 5.31 %, mayor a todos los valores de las muestras experimentales. Por su parte, Saha *et al.* (2010) y Geron *et al.* (2015), en la cascarilla de tamarindo encontraron valores de 30.80 a 77.40 % de MS y de 1.40 hasta 3.30 % de PC, respectivamente.

Armijo *et al.* (2019) reportaron valores de energía en vainas tiernas de mezquite de 1.650 Mcal kg^{-1} de MS y en vainas maduras de 1.482 Mcal kg^{-1} de MS, valores similares a los encontrados en este estudio en PSC, pero menores en FCM y PSC. Montañez *et al.* (2021) reportaron que, en la región del estado de Jalisco, las vainas de mezquite maduras y secas presentaron un contenido de CNF de 42.01 y 53.50 %, respectivamente, lo cual es menor a las concentraciones encontradas en este estudio para el fruto completo y pulpa sin semilla y cáscara de tamarindo. Entre los compuestos presentes en la fracción de carbohidratos no fibrosos se encuentran azúcares, almidones, ácidos orgánicos, fructanos y pectinas, que proporcionan energía; por lo que, con un aporte adecuado de PC en una dieta para rumiantes, el alto contenido de CNF y energía metabolizable, junto con el bajo contenido de FDN en fruto completo y pulpa sin semilla y cáscara, pueden representar una alternativa como fuente de energía en dietas para rumiantes (Weiss, 1993; 1999). Las diferencias observadas en el contenido nutricional, probablemente estén asociadas con las diferencias en las condiciones ambientales en diferentes áreas, incluso a factores como la especie o variedad y el tipo de suelo (Suliman *et al.*, 2015; Mansingh *et al.*, 2021).

En el Cuadro 3 se muestran los valores de digestibilidad *in situ* de la materia seca, en el cual se pueden observar diferencias significativas entre los tratamientos ($P > 0.05$). La PSC tuvo los valores más altos, seguido del FCM y CFM, debido a una mayor disponibilidad de los carbohidratos

Cuadro 1. Análisis de varianza de tratamientos en las variables evaluadas en el experimento.

Variable	Fuentes de variación				
	CMT	CME	S	R ²	CV
Composición química					
Materia seca	0.10	0.061	NS	0.61	0.260
Materia orgánica	91.40	0.058	***	0.99	0.270
Proteína cruda	0.31	0.001	***	0.99	0.080
Extracto etéreo	0.01	0.005	***	0.99	0.850
Fibra cruda	2020.52	0.005	***	0.99	0.093
Fibra detergente neutro	4427.51	0.002	***	0.99	0.040
Fibra detergente ácido	3633.32	0.001	***	0.99	0.012
Hemicelulosa	39.42	0.003	***	0.99	0.308
Cenizas	93.57	0.003	***	0.99	0.065
Carbohidratos no fibrosos	3300.59	0.001	***	0.99	0.028
Energía Metabolizable	0.67	0.001	***	0.99	0.529
Digestibilidad					
72	4078.52	0.189	***	0.99	0.685
48	3926.25	0.199	***	0.99	0.697
24	3723.20	0.998	***	0.99	1.536
16	3448.63	0.036	***	0.99	0.309
12	3901.79	1.657	***	0.99	1.929
8	3109.39	0.378	***	0.99	1.019
4	3142.94	2.876	***	0.99	2.882

CMT: cuadrado medio de tratamiento, CME: cuadrado medio del error, S: significancia, NS: no significativo, ***: P < 0.001, R²: coeficiente de determinación, CV: coeficiente de variación. Digestibilidad: horas de incubación.

contenidos en la pulpa, que por ser de rápida digestión y fuente inmediata de energía promovió un mayor crecimiento microbiano en el rumen; además, la PSC tiene una menor pared celular en comparación con CFM y FCM, lo que permitió una fermentación ruminal mayor (Wang *et al.*, 2017; Guerra *et al.*, 2021).

La digestibilidad de los forrajes puede variar por efecto del ambiente entre épocas del año y zonas geográficas, independientemente de las propias características del forraje en evaluación. Saha *et al.* (2010) observaron que la cascarilla de tamarindo puede contener entre el 60 y 72 % de carbohidratos totales. Sin embargo, en este estudio, la cascarilla de tamarindo tuvo valores de digestibilidad bajos y contenido alto de pared celular, comparado con FCM, donde la FDN y FDA fue baja y su digestibilidad *in situ* por encima de 70 % a las 48 h, lo que permite clasificarlo como un forraje de alta calidad (menores de 60 % de FDN y de 35 % de FDA) (Calsamiglia, 1997). Geron *et al.* (2015),

al incubar dietas con 15 % de residuos de la extracción de pulpa de tamarindo, encontraron un promedio de digestibilidad de 51.88 % de la materia seca, valor menor a lo encontrado en este trabajo. Dado que la FDN disminuye con el aumento en carbohidratos no estructurales son una fuente inmediata de energía para los microorganismos del rumen, lo que causa un aumento en la digestibilidad de la materia seca y explica lo encontrado en este estudio.

Geron *et al.* (2011) mencionan que la utilización de productos alternativos, incluyendo los residuos orgánicos, pueden mejorar la eficiencia en los sistemas de producción de rumiantes de pequeña y mediana escala, por lo que el uso de ingredientes no convencionales en la alimentación de bovinos, como el caso del tamarindo, pueda cambiar la dinámica en la fermentación ruminal. Particularmente, la proteína de la dieta puede ser convertida en amonio por acción de las bacterias proteolíticas en el rumen, ya que algunas especies tienen la capacidad de poder incorporar

Cuadro 2. Composición química de los tratamientos experimentales.

Componente	Tratamiento [†]		
	FCM (%)	PSC (%)	CFM (%)
Materia seca	95.30 a	95.66 a	95.55 a
Materia orgánica	86.81 ab	80.90 b	91.93 a
Proteína cruda	4.58 a	3.96 a	4.11 a
Extracto etéreo	0.79 a	0.84 a	0.87 a
Fibra cruda	17.24 b	5.11 c	54.89 a
Fibra detergente neutro	26.63 b	5.81 a	80.27 c
Fibra detergente ácido	22.06 b	2.72 a	70.29 c
Hemicelulosa	4.57 b	3.09 b	9.98 a
Cenizas	8.49 b	14.76 a	3.62 c
Carbohidratos no fibrosos	59.51 b	74.63 a	11.13 c
Energía Metabolizable (Mcal kg ⁻¹ MS)	2.03 a	1.80 b	2.71 a

[†]Tratamientos: FCM: fruto completo, PSC: pulpa sin semilla y cáscara, CFM: cáscara del fruto en estado maduro. Medias en el mismo renglón con distinta letra son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Cuadro 3. Digestibilidad *in situ* de los tratamientos experimentales.

Horas de incubación	Tratamiento [†]		
	FCM (%)	PSC (%)	CFM (%)
72	73.56 b	94.21 a	22.57 c
48	74.04 b	94.22 a	23.96 c
24	73.14 b	95.51 a	26.46 c
16	70.85 b	90.53 a	24.49 c
12	80.93 b	93.49 a	25.70 c
8	69.44 b	87.04 a	24.60 c
4	65.76 b	87.18 a	23.56 c

[†]Tratamientos: FCM: fruto completo, PSC: pulpa sin semilla y cáscara, CFM: cáscara del fruto en estado maduro. Medias en el mismo renglón con distinta letra son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha = 0.05$).

aminoácidos y péptidos directamente en la proteína microbiana, siendo un aporte de entre el 40-70 % del total del nitrógeno bacteriano que se digiere en el tracto digestivo posterior del rumiante (Hristov y Broderick, 1994; Hristov *et al.*, 2019).

Souza *et al.* (2018) utilizaron 300 g kg⁻¹ de residuo de pulpa de tamarindo secado al sol como un aditivo para mejorar el ensilado de yuca (*Manihot esculenta*, Crantz.)

y reportaron una mejora de la calidad, ya que aumentó el contenido de MS. La recomendación es incluir en este tipo de ensilados hasta 500 g kg⁻¹ de pulpa de tamarindo, dado que aumenta el consumo, la digestibilidad de la materia seca y la retención de nitrógeno en corderos, posiblemente por efecto de los taninos que afectan a la digestión de la proteína, lo que hace que no esté disponible (Bhatta *et al.*, 2001). Galvão *et al.* (2020) incorporaron residuo de la fruta de tamarindo al 21 % en las dietas para cabritos y

observaron que no afectó el consumo y digestibilidad de los nutrientes. Bhatta *et al.* (2000, 2001), al incorporar 7.5 % de cáscara de tamarindo a una dieta integral para vacas lecheras, no encontraron cambios en el consumo de materia seca, pero sí en la proteína cruda, con una reducción significativa del nitrógeno en orina, debido principalmente a la concentración de taninos que contiene la cáscara de tamarindo, la cual altera la fermentación ruminal, particularmente el metabolismo de proteínas, mejorando su aprovechamiento. Al respecto, Van Soest (1994) y Geron *et al.* (2015) mencionan que existen varios factores que modifican la fermentación ruminal, tales como la composición química y física de la proteína, la actividad de las bacterias proteolíticas, el acceso bacteriano de la proteína, el tiempo de retención de alimento en el rumen, el pH ruminal, el procesamiento del alimento, la temperatura ambiente e incluso sustancias.

El fruto de tamarindo, por su composición química y características, puede ser utilizado como ingrediente alternativo para la alimentación animal, ya que puede reducir los costos de producción, proporcionar los mismos nutrientes y disminuir la demanda y competencia de ingredientes convencionales, permitiendo así alcanzar una sostenibilidad social y ambiental por una menor generación y desperdicio de residuos orgánicos y por la plena utilización de residuos en el contexto de los ingresos de la población y material para industrias.

CONCLUSIONES

El fruto de tamarindo completo, por la concentración de nutrientes que presenta, su bajo contenido de pared celular y la alta digestibilidad de la materia seca, tiene el potencial como un recurso alimenticio viable para rumiantes. Por otra parte, la pulpa de tamarindo sin cáscara y semilla, debido a su alto contenido carbohidratos no fibrosos, concentración de energía metabolizable y su degradabilidad ruminal de la materia seca, es una posible fuente de energía no convencional que puede ser utilizada para la elaboración de dietas para rumiantes.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar C. F., M. C. J. Morales, N. J. Romero, A. E. Aguilar and M. J. A. Espinosa (2021) Specific determination and evaluation of the damage of the tamarind fruit borer (*Tamarindus indica* L.) in Villaflores, Chiapas, Mexico. *American Journal of Entomology* 5:116-123, <https://doi.org/10.11648/j.aje.20210504.13>
- Amaral S. M. B., R. M. Moura, D. B. Costa, M. J. Bessa, M. B. V. Maia, R. A. da Costa Júnior, ... and M. N. Damaceno (2022) Uso de tamarindo en el desarrollo de productos alimenticios: una revisión. *Revista Científica Multidisciplinar* 3:e351403, <https://doi.org/10.47820/recima21.v3i5.1403>
- AOAC, Association of Official Analytical Chemists (2012) Official Methods of Analysis 19th ed. Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, Maryland, USA. 771 p.
- Armijo N. M. G., R. A. Moreno, C. E. Blanco, G. V. J. Borroel y C. J. L. Reyes (2019) Vaina de mezquite (*Prosopis* spp.) alimento para el ganado caprino en el semidesierto. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 10:113-122, <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i1.1728>
- Bhatta R., U. Krishnamoorthy and F. Mohammed (2000) Effect of feeding tamarind (*Tamarindus indica*) seed husk as a source of tannin on dry matter intake, digestibility of nutrients and production performance of crossbred dairy cows in mid-lactation. *Animal Feed Science and Technology* 83:67-74, [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(99\)00118-2](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(99)00118-2)
- Bhatta R., U. Krishnamoorthy and F. Mohammed (2001) Effect of tamarind (*Tamarindus indica*) seed husk tannins on *in vitro* rumen fermentation. *Animal Feed Science and Technology* 90:143-152, [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(01\)00204-8](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(01)00204-8)
- Borquaye L. S., M. S. Doetse, S. O. Baah, J. A. Mensah and A. K. Kanduluru (2020) Anti-inflammatory and anti-oxidant activities of ethanolic extracts of *Tamarindus indica* L. (Fabaceae). *Cogent Chemistry* 6:1743403, <https://doi.org/10.1080/23312009.2020.1801111>
- Calsamiglia S. (1997) Nuevas bases para la utilización de la fibra en dietas para rumiantes. In: XIII Curso de especialización FEEDNA: Avances en Nutrición y Alimentación Animal. Rebollar P. G., de Blas C., Mateos G. G. (ed). FEEDNA, Madrid, España. 3-19 p, http://portal.ucv.vt/fileadmin/user_upload/facultad_agronomia/Uso_de_Fibra_en_Rumiantes.pdf
- Correddu F. M., F. Lunesu, G. Buffa, A. S. Atzori, A. Nudda, G. Battacane and G. Pulina (2020) Can agro-industrial by-products rich in polyphenols be advantageously used in the feeding and nutrition of dairy small ruminants? *Animals* 10: 131, <https://doi.org/10.3390/ani10010131>
- El-Siddig K., H. P. M. Gunasena, B. A. Prasad, D. K. N. G. Pushpakumara, K. V. R. Ramana, P. Vijayanand, ... and J. T. Williams (2006) Tamarind: *Tamarindus Indica*. Southampton Center for Underutilised Crops. Southampton, UK, https://books.google.com.mx/books?id=QhtZLMVPLIIC&printsec=frontcover&hl=es&source=gb_s_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false (Septiembre 2023).
- Galvão J. M., T. M. Silva, W. P. Silva, P. R. S. Pimentel, A. M. Barbosa, T. V. C. Nascimento, ... and R. L. Oliveira (2020) Intake, digestibility, ingestive behavior, and nitrogen balance of goats fed with diets containing residue from tamarind fruit. *Tropical Animal Health and Production* 52 : 257-264, <https://doi.org/10.1007/s11250-019-02013-x>
- Geron V. L. J., F. G. da Costa, E. R. H. Santos, J. Garcia, R. J. Trautmann-Machado, L. M. I. da Silva, ... and A. D. Silva (2015) Nitrogen balance in lambs fed diet containing different levels of concentrate. *Seminars: Ciências Agrárias* 36: 1609-1622, <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n3p1609>
- Geron V. L. J., L. M. Zeoula, H. E. J. de Paula, F. R. Ruppim, N. D. Rodrigues and D. C. Moura (2011) Inclusion cottonseed in diets with high concentrate containing agro-industrial by-products on animal performance in feedlot bulls. *Archives of Veterinary Science Curitiba* 16: 14-24, <https://revistas.ufpr.br/veterinary/article/view/18376/17376>
- Guerra, M. C. E., P. L. Gómez, J. J. Maldonado, O. D. Montañez-Valdez, J. A. Gutiérrez and A. Ley de Coss (2021) Beneficial effects of a calf starter versus forage on rumen development and bacteria populations in beef calves. *Ciência Rural* 51:e20200562, <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200562>
- Hristov A., A. Bannink, L. A. Crompton, P. Huhtanen, M. Kreuzer, M. McGee, ... and Z. Yu (2019) Invited review: Nitrogen in ruminant nutrition: A review of measurement techniques. *Journal of Dairy Science* 102: 5811-5852, <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15829>
- Hristov A. and G. A. Broderick (1994) *In vitro* determination of ruminal protein degradability using (15N) ammonia to correct for microbial nitrogen uptake. *Journal of Animal Science* 72 : 1344-1354, <https://doi.org/10.2527/1994.7251344x>
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2018) Dirección General de Geografía y Medio Ambiente. Catálogo Único de Claves de Áreas Geoestadísticas Estatales, Municipales y Localidades, <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/catalogoclaves.aspx> (Septiembre 2023).
- Mansingh B. B., J. S. Binoj, N. P. Sai, S. A. Hassan, S. Siengchin, M. R. Sanjay and Y. C. Liu (2021) Sustainable development in

- utilization of *Tamarindus indica* L. and its by-products in industries: A review. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry* 4:100207, <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2021.100207>
- Montañez O. D., J. A. Reyes, A. Ley de Coss, R. Vicente, A. Gómez y C. E. Guerra (2021) Composición química y degradación ruminal de la vaina de mezquite (*Prosopis* spp.) a diferente estado de madurez. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 8:11, <https://doi.org/10.19136/era.a8n11.2857>
- SADER, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2021) Gobierno del Estado de Jalisco, <https://sader.jalisco.gob.mx/prensa/noticia/3431> (Septiembre 2023).
- Saha P., S. Chowdhury, S. Gupta, I. Kumar y R. Kumar (2010) Assessment on the removal of malachite green using tamarind fruit shell as biosorbent. *Clean - Soil Air Water* 38: 437-445, <https://doi.org/10.1002/clen.200900234>
- SAS, Statistical Analysis System (2011) SAS/STAT. Versión 9.3. User's Guide: SAS Inst., Cary, NC. pp 177-178.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2023) Anuario estadístico de la producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México, <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (Septiembre 2023).
- Souza C. M., R. L. Oliveira, T. V. Voltolini, D. R. Menezes, N. J. A. Dos Santos, A. M. Barbosa, ... and L. R. Bezerra (2018) Lambs fed cassava silage with added tamarind residue: Silage quality, intake, digestibility, nitrogen balance, growth performance and carcass quality. *Animal Feed Science and Technology* 235:50-59, <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.11.007>
- Sulieman A. E., S. M. Alawad, M. A. Osman and E. A. Abdelmageed (2015) Physicochemical characteristics of local varieties of tamarind (*Tamarindus indica* L.), Sudan. *International Journal of Plant Research* 5: 3-18, <https://doi.org/10.5923/j.plant.20150501.03>
- Taha S. A. B., A. E. A. M. Nour and E. A. Osman (2016) The value of tamarind (*Tamarindus indica* L.) pulp and its potential use in vinegar production. *Nova Journal of Medical and Biological Sciences* 5: 1-8. https://pdfs.semanticscholar.org/ee51/4c0dabe6305f318b9b81e4193da986fc77af.pdf?_ga=2.206912854.455286724.1662833248-769661359.1662741729
- Tridge (2023) Centro global de abastecimiento y datos del sector agroalimentario a nivel mundial. Seul, Corea del Sur, <https://www.tridge.com/es/intelligences/tamarind> (Septiembre 2023).
- Van Soest P. J. (1994) Nutritional ecology of the ruminant. Cornell university press. Ithaca, NY, USA. 476 p, <https://books.google.com.br/books?id=-mwUu6PL1UgC&lpg=PA2&hl=pt-BR&pg=PA1#v=onepage&q&f=false>.
- Van Soest P. J., J. B. Robertson and B. A. Lewis (1991) Methods of dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal Dairy Science* 74: 3583-3597, [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Vanzant E. S., R. C. Cochran and E. C. Titgemeyer (1998) Standardization of *in situ* techniques for ruminant feedstuff evaluation. *Journal of Animal Science* 76: 2717-2729, <https://doi.org/10.2527/1998.76102717x>
- Viveros G. J. C., R. K. A. Figueroa, L. F. Gallardo, P. E. García, R. O. Ruiz y R. F. Hernández (2012) Sistemas de manejo y comercialización de tamarindo (*Tamarindus indica* L.) en tres municipios de Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3: 1217-1230, <https://doi.org/10.29312/remexca.v3i6.1373>
- Wang L., T. Nakanishi, Y. Sato, K. Oishi, H. Hirooka, K. Takahashi and H. Kumagai (2017) Effect of feeding tamarind kernel powder extract residue on digestibility, nitrogen availability and ruminal fermentation in wethers. *Asian-Australasian Journal of Animal Science* 30: 379-385, <https://doi.org/10.5713/ajas.16.0137>
- Weiss W. P. (1993) Predicting energy values of feeds. *Journal of Dairy Science* 76: 1802-1811, [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77512-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77512-8)
- Weiss W. P. (1999) Energy prediction equations for ruminant feeds. In: Proceedings of the Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers. New York State College of Agriculture and Life Sciences, Cornell University. pp. 176-185.

