



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA INVESTIGACIÓN Y SERVICIO EN ZOOTECNIA
POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

CALIDAD QUÍMICA-FERMENTATIVA DEL ESQUILMO Y GRANO
DE JAMAICA (*HIBISCUS SABADARIFFA L.*) PARA LA
ENGORDA DE OVINOS

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

PRESENTA

ROSALBA LAZALDE CRUZ

Bajo la supervisión de: **Luis Alberto Miranda Romero, Dr.**

Gustavo Tirado Estrada, Dr.



APROBADA



Chapingo, Estado de México, mayo 2021

CALIDAD QUÍMICA-FERMENTATIVA DEL ESQUILMO Y GRANO DE JAMAICA (*HIBISCUS SABADARIFFA L.*) PARA LA ENGORDA DE OVINOS

Tesis realizada por **ROSALBA LAZALDE CRUZ** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

DIRECTOR:



Dr. Luis Alberto Miranda Romero

CO - DIRECTOR:



Dr. Gustavo Tirado Estrada

ASESOR:



Dr. Alejandro Lara Bueno

ASESOR:



Ph.D. Germán David Mendoza Martínez

LECTOR
EXTERNO:



Dr. Deli Nazmín Tirado González

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS.....	III
LISTA DE FIGURAS.....	IV
DEDICATORIAS.....	V
AGRADECIMIENTOS.....	VI
DATOS BIOGRÁFICOS.....	VII
RESUMEN GENERAL.....	VIII
GENERAL ABSTRACT.....	IX
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL	10
CAPÍTULO 2. EFECTOS POTENCIALES DE DELFINIDINA-3-O-SAMBUBIÓSIDO Y CIANIDINA-3-O-SAMBUBIÓSIDO DE <i>HIBISCUS SABDARIFFA</i> L. EN EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO RUMIANTES.....	17
CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN NUTRIMENTAL Y FERMENTACIÓN <i>in vitro</i> DE LA PAJA DE JAMAICA (<i>HIBISCUS SABDARIFFA</i> L.)	49
CAPÍTULO 4. EFECTO DEL NIVEL DE GRANO DE JAMAICA SOBRE LA FERMENTACIÓN RUMINAL Y GASES DE EFECTO INVERNADERO <i>in vitro</i>	73
CAPÍTULO 5. COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE OVINOS ALIMENTADOS CON GRANO DE JAMAICA Y PROPIONATO DE CALCIO DURANTE LA FINALIZACIÓN.....	95

LISTA DE CUADROS

CAPÍTULO 2

- Cuadro 1. Composición química de la semilla de jamaica.47
- Cuadro 2. Porcentajes de ácidos grasos reportados en las semillas y cálices de la jamaica.....48

CAPÍTULO 3

- Cuadro 1. Análisis químico proximal de los principales componentes de la planta de jamaica y cinco variedades.57
- Cuadro 2. Gas de fermentación e indicadores de calentamiento global *in vitro* de los componentes botánicos de cinco variedades de la planta de jamaica.64

CAPÍTULO 4

- Cuadro 1. Composición (%) de dietas para ovinos formuladas con grano de jamaica.78
- Cuadro 2. Cinética de producción de gas y digestibilidad de dietas para ovinos con niveles crecientes de grano de jamaica (*Hibiscus sandariffa L.*).82
- Cuadro 3. Efecto del nivel de grano de jamaica en la producción de gas, digestibilidad y las variables de impacto atmosférico *in vitro*.84

CAPÍTULO 5

- Cuadro 1. Dietas experimentales para ovinos con grano de jamaica, propionato de Calcio y su combinación.....102
- Cuadro 2. Medias del efecto del uso de Propionato de Ca y grano de jamaica sobre las variables productivas y de canal.105

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 3

- Figura 1. Fracciones de fermentación rápida (FFR), media (FFM), lenta (FFL) y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS de componentes botánicos del esquilmo de cinco variedades de jamaica.58

CAPÍTULO 4

- Figura 1. Cambios en los nutrimentos en función del nivel de inclusión de grano de jamaica en dietas para ovinos.81
- Figura 2. Cambio en las fracciones de fermentación rápida (FFR), media (FFM), y lenta (FFL) en una dieta para ovinos por efecto de la inclusión de grano de jamaica.83

DEDICATORIAS

"En la vida hay que elegir bien tú copiloto, porque, al fin y al cabo, es quién te pone la música"

Por eso este trabajo que representa mucho tiempo de estudio, dedicación, ilusiones, a veces frustración y lágrimas se lo dedico a mi esposo Rodrigo, quien ha recorrido conmigo este camino. Él me motiva e inspira con su inmenso amor y empatía.

A Gabi, Lupe y Hugo, que siempre están en mi corazón y a mi madre, mi gratitud eterna.

Agradezco a Dios, ya que, el haber recorrido este camino, no sólo me ha hecho una mejor profesionista, por todo el conocimiento adquirido, también me reconozco como mejor ser humano y con mayor sentido de responsabilidad social y ética.

*"La gente corre tanto
porque no sabe a donde va,
el que sabe dónde va,
va despacio,
para PALADear
el ir llegando"*

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al pueblo de México, que a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) pude acceder al apoyo económico y la oportunidad de estudiar este posgrado.

Al Posgrado en Producción Animal de la Universidad Autónoma Chapingo, mi *alma mater*, y en especial al Dr. Rafael Núñez Domínguez, Coordinador del Posgrado, por su liderazgo, amabilidad y pronta resolución a los problemas.

A mis asesores, el Dr. Luis Alberto Miranda Romero, Dr. Gustavo Tirado Estrada, Dr. Alejandro Lara Bueno y Dr. Germán Mendoza Martínez por su orientación, asesorías y compromiso para llegar al final de este trabajo. Especialmente a la Dra. Deli Tirado González, por todas sus contribuciones y consejos.

A mis amigos del posgrado y laboratorio de microbiología: Tere Castillo, Carmen Ortiz, Paco Castañeda y Yoel López. Así como a Laura Sandoval por todo su apoyo.

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre	Rosalba Lazalde Cruz
Fecha de nacimiento	16 de junio de 1982
Lugar de nacimiento	Ixtapaluca, Estado de México
CURP	LACR820616MMCZRS01
Profesión	Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia
Cédula profesional	7445029
Cédula de Maestría	11367216

Desarrollo académico

Doctorado en Ciencias (2017-2020)	Posgrado en Producción Animal Universidad Autónoma Chapingo
Maestría en Ciencias (2007- 2008)	Instituto de Ciencias Agrícolas Universidad Autónoma de Baja California
Licenciatura (2001- 2006)	Departamento de Zootecnia Universidad Autónoma Chapingo

RESUMEN GENERAL

CALIDAD QUÍMICA-FERMENTATIVA DEL ESQUILMO Y GRANO DE JAMAICA (*HIBISCUS SABADARIFFA L.*) PARA LA ENGORDA DE OVINOS¹

El uso de fuentes alimenticias no convencionales puede contribuir a mejorar la sustentabilidad de los sistemas de producción de rumiantes. Se evaluaron las propiedades nutritivas del esquilmo del cultivo de la jamaica y el efecto del propionato de Ca (PrCa) como ingredientes en la alimentación de ovinos. Se realizó una revisión de literatura enfocada en los componentes nutraceuticos de la planta y sus efectos en la salud humana y animal. El estudio se llevó a cabo en tres fases experimentales diferentes: 1) se evaluó la calidad nutricional, la fermentación, y la potencial emisión de gases de efecto invernadero (GEI) *in vitro* en granos (GJ), receptáculos, hojas y tallos de cinco variedades de jamaica; 2) se evaluó el efecto *in vitro* de incluir diferentes niveles de GJ en dietas para ovinos sobre el impacto nutricional, fermentativo y ambiental; 3) se analizó el efecto de la inclusión de GJ (15%) y propionato de calcio PrCa sobre el comportamiento productivo de ovinos (peso final (PF), consumo de materia seca (CMS), ganancia diaria de peso (GDP), conversión alimenticia (CA), y canal). Aunque el GJ tuvieron más proteína cruda (PC) y extracto etéreo (EE) que las hojas, la digestibilidad *in vitro* de materia seca (DIVMS) del GJ fue menor (55 vs 74 %) y, por lo tanto, su inclusión redujo la digestibilidad y la producción de gas (Vm) de las dietas; sin embargo, la inclusión de GJ no aumentó la emisión de GEI. Durante las primeras horas de incubación (0 a 8), las hojas y los tallos tuvieron mejores DIVMS y Vm que el GJ, sugiriendo mayor cantidad de carbohidratos solubles. Tanto GJ como PrCa mejoraron el PF durante la evaluación y no mostraron efectos negativos en la canal. El GJ y PrCa puede usarse para alimentar a ovinos en confinamiento sin efectos negativos sobre la digestibilidad, los patrones de fermentación o el comportamiento productivo de los animales.

Palabras clave: esquilmos, grano de jamaica, propionato de calcio, gas *in vitro*, ovino

¹Tesis de Doctorado en Ciencias en Innovación Ganadera, Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo
Autor: Rosalba Lazalde Cruz
Director: Luis Alberto Miranda Romero

GENERAL ABSTRACT

CHEMICAL-FERMENTATIVE QUALITY OF JAMAICA WASTE AND GRAIN (*HIBISCUS SABADARIFFA L.*) FOR SHEEP FATTENING²

Using non-conventional sources of feed contribute to improve the sustainability of ruminant production systems. The nutritional characteristics of by-products from hibiscus crop and the effect of Ca propionate (PrCa) were evaluated as potential ingredients to be included in sheep diets. An extensive review about the effects of hibiscus nutraceutical components on human and animal health was performed. Study was performed in three different experimental phases: 1) the nutritional and *in vitro* fermentation, and the potential greenhouse gases (GHG) emission were evaluated on grains (GJ), receptacles, leaves, and stems of five Jamaica varieties; 2) the *in vitro* effect of including different levels of GJ in sheep' diets on the nutritional, fermentative, and environmental impact was evaluated; 3) it was analyzed the effect of the inclusion of GJ (15%) and PrCa on sheep fattening performance (dry matter intake (DMI), average daily gain (ADG), body weight gain, feed conversion (FC), and carcass). Although GJ had more contents of crude protein (CP) and ethereal extract (EE) than leaves, the *in vitro* dry matter digestibility (IVDMD) of GJ was lower (55 vs 74 %) and therefore its inclusion reduced the IVDMD and gas production (GP) of whole diets; however, the inclusion of GJ did not increase the potential GHG. During the first hours of incubation (0 to 8 h), leaves and stems had better IVDMD and GP than GJ, suggesting more amount of soluble carbohydrates. Both, GJ and PrCa improved the body weight gained during the evaluation and showed no negative effects on the carcass. Hibiscus and PrCa could be used to feed sheep feed without negative effects on digestibility, fermentation patterns, or animal productive behavior.

Key words: Crop waste, jamaica grain, calcium propionate, *in vitro* gas, sheep.

²Doctoral Thesis in Livestock Innovation, Graduate Program in Animal Production, Universidad Autónoma Chapingo
Author: Rosalba Lazalde Cruz
Advisor: Luis Alberto Miranda Romero

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La planta de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) es una especie arbustiva de la familia de las Malváceas, perenne y semi leñosa, que pudo ser domesticada en el oeste de Sudán antes del año 4000 a. C. (Udayasekhara, 1996). Al género *Hibiscus* lo conforman más de 300 especies (Ismail, Khairul, & Mohd, 2008) siendo la de mayor importancia económica la planta de jamaica por ser la más versátil en los diferentes usos que se le dan.

Los mayores productores son China, India y Sudán que controlan gran parte del suministro mundial de jamaica con 27.6, 17.9 y 8.9 % y México con 5.1 %, el cual destina la totalidad de esta producción para consumo interno (FAO-FAOSTAT, 2004). De las 18,543 ha de jamaica cultivadas en México, el 76 % (14,079 ha) se producen en Guerrero, 9.3 % en Michoacán (1,714 ha) y 8.9 % en Oaxaca (1,605 ha) (SIAP, 2018). El cultivo de jamaica se concentra en el ciclo agrícola de primavera-verano y se desarrolla en un clima tropical seco, donde la agricultura y la ganadería son en su mayoría de tipo familiar, con baja tecnificación (Ariza et al., 2014, Ariza et al., 2017) y la producción de jamaica depende de una variedad criolla de bajo rendimiento (Ariza et al., 2017) dando como resultado que el rendimiento promedio sea bajo (0.41 t ha^{-1}) comparado con China que reporta producciones de 2 t ha^{-1} (FAO-FAOSTAT, 2004; SAGARPA, 2012).

De la planta de jamaica se usa principalmente el cáliz para extraer una infusión de la cual se preparan diversos alimentos de alto valor nutritivo, ya que contiene una gran cantidad de nutraceuticos, entre ellos los fenoles y antocianinas, sustancias reconocidas por su capacidad antioxidante (Bergmeier et al., 2014; Da-Costa, Bonnlaender, Sievers, Pischel, & Heinrich, 2014; Formagio et al., 2015) y efectos antimicrobianos (Paim, Maciel, Weschenfelder, Bergmann, & Avancici, 2017). De las hojas y el tallo se extraen fibras para la elaboración de textiles y como abono orgánico (Dutt, Upadhyay, Singh, & Tyagi, 2009). El grano de jamaica por su contenido de proteína y grasa (28.7 y 17.7 % en promedio), se

ha aprovechado para la alimentación humana en fermentados (Yagoub, Mohamed, Ahmed, & Tinay, 2004), alimento para peces (Fagbenro, 2005), pollo de engorda (Mukhtar, 2007) y para ovinos (Elamin, Hassan, Abdalla, Arabi, & Tameen-Eldar, 2012).

La información respecto al uso de la planta en general es limitada, ya que investigaciones pasadas se han centrado únicamente en la aportación nutritiva del grano y algunos variables productivas, sin obtener los parámetros de fermentación ruminal, digestibilidad y producción de gases de efecto invernadero de cada una de las partes botánicas que no tienen valor comercial, una vez cosechado el cáliz. Investigaciones como las de Rahman et al. (2016) en novillos con fístula ruminal, demuestran que las digestibilidades *in situ* de la materia seca (MS) y la proteína (PC) de la semilla de jamaica fueron similares a las de la pasta de girasol y cacahuate, y mejores a las de la pasta de algodón.

Por otro lado, la creciente preocupación por el aprovechamiento de recursos naturales de manera sustentable conlleva a la búsqueda de estrategias de alimentación en los sistemas de producción actuales, estos deben favorecer la reducción de emisiones gases de efecto invernadero (GEI) como son: metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) y óxido nitroso (N₂O), de los cuales, el metano es de mayor importancia por su potencial de calentamiento: 23 veces mayor que el CO₂ (IPCC, 2014). Los rumiantes poseen un sistema digestivo capaz de convertir los carbohidratos estructurales en productos altamente nutritivos como carne y leche, sin embargo, parte de su sistema digestivo produce CH₄ (Carmona, Bolivar, & Giraldo, 2005). Además de los efectos negativos reportados al medio ambiente, la producción de metano disminuye la eficiencia energética en los componentes nutritivos fermentados en el rumen.

Las bacterias anaeróbicas degradan la celulosa contenida en la dieta a glucosa que luego es fermentada a ácido acético y reducen el dióxido de carbono formando metano que se elimina al ambiente por medio del eructo. En este proceso se pierde energía que no es aprovechada por el animal (McCaughey,

Wittenberg, & Corrigan, 1999). Se reporta que las vacas adultas en pastoreo producen entre 60 y 95 kg de gas metano anualmente, aportando entre 15 y 20 % de la emisión mundial de este gas (Carmona et al., 2005; DeRamus, Clement, Giampola, & Dickison, 2003). El 87 % de la producción de CH₄ se produce en el rumen y 13 % restante en el tracto digestivo posterior. McCaughey et al. (1999). Existen diferentes estrategias nutricionales para reducir las emisiones de metano a nivel ruminal, con el fin de hacer más eficiente los patrones de fermentación (relación Acetato: Propionato (A/P)) y reducir metano (Johnson & Johnson, 1995). De igual manera es importante reducir los desechos generados por la agricultura y ganadería para disminuir las emisiones de los GEI, ya que se estima que en México se generaron en el 2015 poco menos de un millón de toneladas de residuos agrícolas orgánicos (SAGARPA, 2015).

Hipótesis

El esquilmo de la planta de jamaica, grano, hoja, tallo y receptáculo contienen los nutrimentos y es suficientemente digestible para ofrecerse como alimento a ovinos en confinamiento sin afectar los parámetros productivos, así como el propionato de Calcio.

Objetivos

- ✚ Investigar la calidad nutritiva, fermentación *in vitro* y potencial de emisión de gases de efecto invernadero, de los componentes botánicos de la planta de jamaica.
- ✚ Evaluar el comportamiento productivo y de la canal de ovinos en confinamiento alimentados con grano de jamaica y propionato de calcio.

El presente trabajo está conformado por cinco capítulos: el **Capítulo I** consta de una introducción general, en el **Capítulo II** de este trabajo, se expone una revisión de dos metabolitos que se encuentran en el extracto del cáliz de jamaica:

cianidina-3-O-sambubiósido y delfinidina-3-O-sambubiósido. Estos metabolitos actúan como factores que contrarrestan los efectos de especies reactivas de oxígeno (ROS), y al acumularse en los tejidos, coadyuban en la salud del rumiante y la obtención de productos de mejor calidad como carne y leche. Estas sustancias, además intervienen positivamente en la biohidrogenación de las grasas, favoreciendo la reducción de la emisión de CH₄.

En el **Capítulo III** se exponen los resultados de los análisis que se realizaron a cinco variedades de jamaica mexicana y cuatro de sus componentes para obtener la calidad nutricional y fermentativa de cada uno y la proporción de GEI; con esta información se pudo obtener el Índice de Impacto Ambiental y el Indicador Potencial de Calentamiento Global, útiles para estimar el impacto atmosférico de los sustratos. Dado que el grano es un componente de mucho interés por sus nutrimentos.

En el **Capítulo IV** se analizaron *in vitro* las dietas isoenergéticas e isoproteicas con seis niveles de inclusión de grano de jamaica, para obtener un porcentaje óptimo de degradabilidad, y que no afecte la fermentación ruminal. Con esta integración a las dietas, se tuvo como objetivo el determinar su efecto en las emisiones de GEI *in vitro*.

En el **Capítulo V** se presentan los resultados de la prueba de comportamiento con ovinos con el propósito de evaluar el potencial del grano de jamaica, solo o en combinación con propionato de calcio en la alimentación de ovinos. Características productivas como la ganancia diaria de peso, eficiencia alimenticia, consumo diario de alimento y variables para evaluación de la canal, ayudan a discernir el potencial del grano de jamaica y propionato de calcio la alimentación animal en sustitución de otros ingredientes convencionales.

Literatura citada

Ariza-Flores, R., Serrano-Altamirano, V., Navarro-Galindo, S., Ovando-Cruz, M. E., Vázquez-García, E., Barrios-Ayala, A., Michel-Aceves, A. C., Guzmán-

- Maldonado, S. H., & Otero-Sánchez, M. A. (2014). Variedades mexicanas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) 'alma blanca' y 'rosalíz' de color claro, y 'cotzaltzin' y 'tecoanapa' de color rojo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(2), 181–185.
- Ariza, F. R., Serrano, A. S., Michel, A. A., Barrios, A. A., Otero, S. M. A., Avendaño, A. C. H., & Noriega, C. D. (2017). Características bioquímicas y calidad nutracéutica de cinco variedades de jamaica cultivadas en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(2), 269–280.
- Bergmeier, D., Berres, P. H. D., Filippi, D., Bilibio, D., Bettiol, V. R., & Priamo, W. L. (2014). Extraction of total polyphenols from hibiscus (*Hibiscus sabdariffa* L.) and waxweed / 'sete-sangrias' (*Cuphea carthagenensis*) and evaluation of their antioxidant potential. *Acta Scientiarum Technology*, 36(3), 545–551, doi.org/10.4025/actascitechnol.v36i3.19093.
- Carmona, J. C., Bolívar, D. M., & Giraldo, L. A. (2005). El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 18, 49-63.
- Da-Costa, R. I., Bonnlaender, B., Sievers, H., Pischel, I., & Heinrich, M. (2014) *Hibiscus sabdariffa* L. A phytochemical and pharmacological review. *Food Chemistry*, 165, 424–443.
- DeRamus, H. A., Clement, T. C., Giampola, D. D., & Dickison, P.C. (2003). Methane emissions of beef cattle on forages: efficiency of grazing management systems. *Journal Environment Qual*, 32, 269-277.
- Dutt, D., Upadhyay, J., Singh, B., & Tyagi, C. (2009). Studies on *Hibiscus cannabinus* and *Hibiscus sabdariffa* as an alternative pulp blend for softwood: An optimization of kraft delignification process. *Industrial Crops and Products*, 29, 16-26.
- Elamin, K., Hassan, H., Abdalla, H., Arabi, O., & Tameem-Eld, A. (2012). Effect of Feeding Crushed Roselle Seed (*Hibiscus sabdariffa* L.) (Karkadeh) on Carcass Characteristics of Sudan Desert Sheep. *Asian Journal of Animal Sciences*, 6(5), 240–248, doi.org/10.3923/ajas.2012.240.248.
- Fagbenro, O. A. (2005) Soybean meal substitution with Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) seed meal in dry practical diets for fingerlings of the African Catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 4,473-477.
- FAO-FAOSTAT (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2004). Estadísticas nacionales e internacionales. HIBISCUS: post-harvest operations. Disponible en: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/inpho/docs/Post_Harvest_Compodium_-_Hibiscus.pdf. Consultada septiembre 2017.

- Formagio, A. S. N., Ramos, D. D., Vieira, M. C., Ramalho, S. R., Silva, M. M., Zárate, N. A. H., Foglio, M. A., & Carvalho, J. E. (2015). Phenolic compounds of *Hibiscus sabdariffa* and influence of organic residues on its antioxidant and antitumoral properties. *Brazilian Journal of Biology*, 75, 69-76, dx.doi.org/10.1590/1519-6984.07413.
- IPCC (Intergovernmental panel on climate change Climate Change). (2014). Fifth Sintesis Report. Disponible en https://archive.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf. Consultada el 17 de abril 2019.
- Ismail, A., Khairul, I. E., & Mohd, N. H. (2008). Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) seeds-nutritional composition, protein quality and health benefits. *Global Science Book. Food*, 2, 1-16.
- Johnson, K. A. & Johnson, D. E. (1995). Methane emission in cattle. *Journal of Animal Science*, 73, 2483-2492.
- McCaughey, W., Wittenberg, K., & Corrigan, D. (1999). Impact of pasture type on methane production by lactating beef cows. *Canadian Journal Animal Science*, 79, 221-226.
- Mukhtar, A. M. (2007). The Effect of Feeding Rosella (*Hibiscus Sabdariffa*) Seed on Broiler Chick's Performance. *Research Journal of Animal & Veterinary Science*, 2, 21-23.
- Paim, M. P., Maciel, M. J., Weschenfelder, S., Bergmann, G. P., & Avancini, C. A. M. (2017). Anti-Escherichia coli effect of *Hibiscus sabdariffa* L. in a meat model. *Food Science and Technology*, 37(4), 647-650, doi.org/10.1590/1678-457x.29516.
- Rahman, A. A., Salih, A. M., Turki, I. Y., Abdulatee, S. O., Elbasheir, O. M., & Magboul, M. M. (2016). Determination of Dry matter and Crude Protein degradability of Roselle Seed (*Hibiscus sabdariffa*) Using Nylon Bags Technique. *Sudan Journal of Science and Technology*, 17(1), 58-65.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2012). Plan rector nacional sistema producto jamaica. Comité nacional sistema producto jamaica. Disponible en: http://dev.pue.itesm.mx/sagarpa/nacionales/EXP_CNISP_JAMAICA/PLAN%20RECTOR%20QUE%20CONTIENE%20PROGRAMA%20DE%20TRABAJO%202012/PR_CNISP_JAMAICA_%202012.pdf. Consultada el 22 de enero de 2018.
- SAGARPA. (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2015). Plan de manejo de residuos generados en actividades agrícolas primera etapa: Diagnóstico nacional. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/346978/Manejo_de_residuos_Detallado.pdf. Consultado el 3 de octubre de 2019.

- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2018). Disponible en: http://nube.siap.gob.mx/cierre_agricola/. Consultada el 02 de octubre de 2017.
- Udayasekhara, R. P. (1996). Nutrient composition and biological evaluation of mesta (*Hibiscus sabdariffa*) seeds. *Plant Foods for Human Nutrition*, *49*, 28–34.
- Yagoub, A. E. G. A., Mohamed, B. E., Ahmed, A. H. R., & El Tinay, A. H. (2004). Study on Furundu, a Traditional Sudanese Fermented Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) Seed: Effect on *in Vitro* Protein Digestibility, Chemical Composition, and Functional Properties of the Total Proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *52*(20), 6143–6150, doi.org/10.1021/jf0496548.

CAPITULO 2. EFECTOS POTENCIALES DE DELFINIDINA-3-O-SAMBUBIÓSIDO Y CIANIDINA-3-O-SAMBUBIÓSIDO DE *HIBISCUS SABDARIFFA* L. EN EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO RUMIANTES

POTENTIAL EFFECTS OF DELPHINIDIN-3-O-SAMBUBIOSIDE AND CYANIDIN-3-O-SAMBUBIOSIDE OF *HIBISCUS SABDARIFFA* L. IN PRODUCTIVE BEHAVIOR OF RUMINANTS

Lazalde-Cruz R.¹, Miranda-Romero Luis Alberto², Tirado-Estrada Gustavo ³, Mendoza-Martínez, G. D.⁴, Lara-Bueno, A⁵, Tirado-González D. N.⁶

^{1, 2, 5}*Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Departamento de Zootecnia, Posgrado en Producción Animal.*

^{3, 6}*Instituto Tecnológico El Llano Aguascalientes. División de Estudios de Posgrado e Investigación (DEPI).*

⁴*Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco, México.*

Resumen

El objetivo fue analizar el potencial del uso de las antocianinas cianidina-3-*O*-sambubiósido y delphinidina-3-*O*-sambubiósido de *Hibiscus sabdariffa* L. (HS) en la alimentación de rumiantes. Información proveniente de artículos científicos de las áreas clínica, farmacológica, nutrición y producción animal (publicados hasta 2021) fue incluida en esta revisión. Factores como la proporción de granos/concentrados, exigencia metabólica y estrés calórico, contribuyen al incremento de especies reactivas de oxígeno (ROS), ya que el exceso de ROS rompe el balance de oxidantes y antioxidantes. Las cianidina-3-*O*-sambubiósido y delphinidina-3-*O*-sambubiósido tienen actividad antioxidante, antibacteriana, antiviral y antihelmíntica. En el rumen, las interacciones y/o sinergismos de las antocianinas con los sustratos alimenticios, microorganismos y enzimas, pueden reducir la degradabilidad de la fibra, pero también la emisión de metano (CH₄); y también intervienen positivamente en la biohidrogenación de grasas, mejorando la calidad de la grasa de la leche y carne. Las antocianinas reducen la oxidación del plasma y se acumulan en los tejidos, incrementando la cantidad de antioxidantes de la leche y carne. Cianidina-3-*O*-sambubiósido y delphinidina-3-*O*-sambubiósido actúan como inhibidores de la enzima convertidora de la angiotensina (ACEi) y de la expresión genética de la renina del sistema renina-angiotensina-aldosterona (RAS), lo que podría mejorar la producción de leche (aunque faltan evidencias en rumiantes). Por otro lado, los polifenoles afectan la capacidad reproductiva. Subproductos, como la semilla de HS, contienen igual o mayor cantidad de polifenoles que los cálices, y su inclusión moderada en dietas para rumiantes podría mejorar la ganancia de peso y calidad de las grasas de la carne. HS puede mejorar la calidad de la leche y la carne al ser incluida en la alimentación de rumiantes.

Palabras clave: *Hibiscus sabdariffa* L., estrés oxidativo, antocianinas, nutrición de rumiantes, producción de leche y carne, subproductos.

Abstract

The objective was to analyze the effects of adding anthocyanin delphinidin-3-O-sambubioside and cyanidin-3-O-sambubioside of *Hibiscus sabdariffa* L. in animal diets. Scientific articles published before 2021 in clinics, pharmacology, nutrition, and animal production were included. The grains/concentrate, metabolic exigency, and caloric stress contribute to increase the reactive oxygen species (ROS); the excess of ROS unbalance the oxidants and antioxidants. Cyanidin-3-O-sambubioside and delphinidin-3-O-sambubioside have antioxidant, antibacterial, antiviral, and anthelmintic activities. In rumen, anthocyanin might show interactions and/or synergisms with substrates, microorganisms, and enzymes which could reduce the fiber degradability, but increase the potential methane (CH₄) emissions; since anthocyanin interfere in biohydrogenation of fats, they increase the fat milk and meat quality. Anthocyanins reduce plasma oxidation and deposit in tissues, increasing the milk and meat antioxidant activities. Cyanidin-3-O-sambubioside and delphinidin-3-O-sambubioside act as inhibitors of the angiotensin converting enzyme (ACEi) and rennin expression which may improve milk yield (there is not enough evidence in ruminants, though). Polyphenols affect the reproductive potential. Sub products of HS contain as many amounts of polyphenols as calyces, and their inclusion in diets would positively affect the average daily gain and fat meat quality. Including HS in ruminant diets can improve the meat and milk quality.

Keywords: *Hibiscus sabdariffa* L., oxidative stress, anthocyanin, ruminant nutrition, milk and meat production, sub products.

Introducción

La jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L. (HS)) es una especie arbustiva de la familia de las Malváceas, originario de la India ^(1,2), de ciclo agrícola anual (principalmente de primavera-verano), propio de climas secos subtropicales y tropicales (Aw/As, clasificación climática de Köppen) ^(2,3,4). En 2003, en México se cultivaban aproximadamente 22,038 ha, para 2018 la superficie cosechada se incrementó 10.54% ^(5, 6). El 85% de la producción proviene de Guerrero y Oaxaca (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera ⁽⁶⁾).

De acuerdo con la FAO ⁽⁷⁾, los cálices de HS forman parte de los productos botánicos más comercializados a nivel mundial, principalmente por la alta demanda para procesos industriales ^(8, 9) y para el consumo humano ⁽⁹⁾. Debido al perfil de ácidos grasos ^(10, 11), contenido de antioxidantes ^(12, 13, 14) y su capacidad antimicrobiana (especialmente bacterias Gram negativas) ⁽¹⁵⁾, antiviral ⁽¹⁶⁾ y antihelmíntica ⁽¹⁷⁾, HS puede tener efectos positivos en la salud humana ^(12, 18, 19).

Los cálices contienen $15.76 \pm 0.04\%$ de ácido α -linoléico (n-3) insaturado ^(10, 11), y flavonoides principalmente del tipo antocianinas ⁽²⁰⁾. Diversos factores como la variedad, lugar de la cosecha, procesamiento, almacenamiento, métodos de extracción y otros contenidos celulares, generan variabilidad entre los valores reportados para antioxidantes ^(21, 22, 23), sin embargo, la mayor proporción flavonoides de HS corresponden a las antocianinas cianidina-3-*O*-sambubiósido (25.9 a 46.2%) y delphinidina-3-*O*-sambubiósido (48.4 a 59.2%) ^(13, 23, 24, 25), que diferencian los potenciales efectos clínicos de HS de los de otros productos altos en flavonoides, como el té verde (*Camelia sinensis*) que contiene principalmente epigallocatequinas-3-galato (EGCG) y epicatequinas-3-galato ⁽²⁶⁾.

Aunque los polifenoles, y otros tipos de antioxidantes como el selenio y el α -tocoferol ayudan a eliminar radicales libres y quelatar metales pro-oxidantes ^(9, 14, 27, 28, 29), su comportamiento en el interior del rumen y posterior absorción, promueven diferentes efectos clínicos, en la digestibilidad y cinética de fermentación ruminal ^(30, 31), y en el comportamiento productivo animal ⁽³²⁾, pudiendo reducir los efectos del estrés oxidativo de los rumiantes ^(33, 34, 35) en producción causados por el alto consumo de granos ^(27,36, 37), la alta exigencia metabólica y/o el estrés calórico ⁽³⁷⁾, y reduciendo los riesgos de los oxidantes en los productos derivados para el consumo humano ⁽³⁸⁾.

El presente artículo expone una revisión crítica de las potenciales aplicaciones clínicas y productivas del uso de componentes de HS, con altos en antocianinas cianidina-3-*O*-sambubiósido y delfinidina-3-*O*-sambubiósido, en la alimentación de rumiantes.

1. Mecanismos del estrés oxidativo en rumiantes

Los procesos inflamatorios y otros procesos ambientales incrementan la cantidad endógena de especies reactivas de oxígeno (ROS). El desbalance entre prooxidantes y antioxidantes ocasiona estrés oxidativo y eventuales daños moleculares ⁽³⁷⁾.

En rumiantes destinados a la producción de leche y carne, además del incremento de la contaminación, que afecta el balance de antioxidantes, la alta exigencia metabólica durante la gestación, producción de leche, balance negativo energético, estrés calórico, enfermedades respiratorias, procesos inflamatorios, y parásitos, promueven la mayor liberación ROS (O^2 , OH, RO^2 , RO, HO^2 , y H_2O_2 , HOCl, O_3 , entre otros), en tanto que la movilización de tejido adiposo incrementa las citoquinas proinflamatorias ⁽³⁷⁾. Los

potenciales efectos negativos en la salud animal, se incrementarán en un escenario futuro, en donde el crecimiento de la población que vive en las áreas urbanas demandará la producción de mayor cantidad de alimentos ⁽²⁷⁾.

Por una parte, el estrés oxidativo y los procesos inflamatorios contribuyen a diversas patogénesis: las ROS contribuyen a la inflamación a través de la activación de la necroptosis (NF- κ B) vía la fosforilación de las interleucinas (I- κ B), y por la producción de las citoquinas como factores tumorales (TNF- α).

En segundo término, la carbonilación de las proteínas, intervienen ROS en presencia de metales (Fe²⁺, Cu⁺, etc.), lo que implica la formación de productos de la oxidación y oxidación avanzada de las proteínas (AOPP): 1) los carbohidratos y lípidos tienen compuestos reactivos al carbonil provenientes de la glicoxidación y lipoperoxidación, y pueden unirse a residuos de proteínas; y 2) las proteínas oxidadas son degradadas por proteasas, pero su modificación química (al formar agregados con enlaces cruzados de ditirosina y disulfido) impide que sean sustratos para la proteólisis; estos residuos no degradados, tienden a formar depósitos a los que se les atribuyen lesiones en el cerebro, corazón ^(39, 40, 41) o riñones ^(42, 43, 44).

En bovinos, las dietas altas en granos y concentrados por largo tiempo incrementan la lipoperoxidación, decreciendo el α -tocoferol y la capacidad reductora férrica del plasma ⁽²⁷⁾ e incrementan la cantidad de AOPP. La cantidad de AOPP impacta negativamente la producción de leche, por la posible relación entre la proporción de granos/concentrados en las dietas, el metabolismo, y el balance oxidativo y antioxidativo. La reducción de fibra detergente neutro (FDN) en la dieta, se ha relacionado al aumento (del 30 a 45%) de

metabolitos anómalos en ruminales ⁽³⁶⁾. Por otra parte, la baja cantidad de antioxidantes en la dieta expone a los microorganismos ruminales a mayor cantidad de oxidantes, reduciendo el crecimiento bacteriano ⁽³⁷⁾.

En los procesos infecciosos por virus, bacterias y hongos, los fagocitos y neutrófilos son fuentes de ROS que intervienen en una serie de reacciones químicas para incrementar el potencial oxidante del ácido hipocloroso que es utilizado en la eliminación de patógenos, pero que causa daño tisular. Los parásitos inducen la inflamación y con ello, el incremento de eosinófilos, contribuyendo al daño de los tejidos. Adicionalmente, la lactancia y el estrés calórico son fuentes potenciales de AOPP y causan el incremento de la expresión de TNF- α , aumentando la probabilidad de enfermedades potenciales de la glándula mamaria en vacas lecheras y la concentración de ROS en la leche, carne y derivados ^(45, 46). Estos productos oxidados, pueden elevar la concentración de ROS en el plasma sanguíneo de los consumidores ⁽³⁸⁾.

2. Efectos clínicos potenciales de los diferentes tipos de antioxidantes

El término polifenol se refiere a una amplia clase de metabolitos secundarios de las plantas y que contienen al menos un sustituto -OH. Los polifenoles pueden ser simples (ácidos egálicos y gálicos) o complejos (dímeros-oligoméricos, o poliméricos con alto peso molecular). Los antioxidantes se clasifican en flavonoides o no flavonoides, a su vez, los flavonoides se clasifican como flavononas, flavonas, isoflavonas, flavonol, flavan-3-ol y antocianidinas (de los flavan-3-ol provienen los taninos condensados (no hidrolizables)),

los no flavonoides incluyen a los ácidos fenólicos, los taninos hidrolizables y los estilbenos (17).

La cantidad de compuestos fenólicos totales puede no tener una relación directa con la capacidad antioxidante (22), posiblemente por las diferencias estructurales de los compuestos (21). Por ejemplo, EGCG mayormente presentes en el té verde (CS), tienen un grupo galoiol en la tercera posición y un *O*-trihidroxi en el anillo β que protege a las células del daño producido por los ROS (42, 47), por lo que sus propiedades antiinflamatorias y antioxidantes influyen en los procesos de apoptosis, fibrosis y crecimientos tumorales a través de la regulación y reducción de las quinasas, transductores de señales, y activación de la transcripción (44, 48). Las EGCG además (49):

- 1) Promueven la citotoxicidad para favorecer actividades antitumorales, reduciendo el H_2O_2 por medio de su pirogalol o el Fe^{3+} a Fe^{2+} , con lo que se generan ROS del tipo -OH (aunque la cisteína N-acetil protege a las células de la citotoxicidad del H_2O_2 , no evita la muerte celular.
- 2) Pueden unir proteínas y lípidos a la membrana, regulando a los receptores tirosina quinasa, de factor de crecimiento epidérmico, de factor de crecimiento vascular endotelial, factor de crecimiento similar a la insulina (IGFR), y de la insulina (InsR).
- 3) Promueven la apoptosis a través del daño mitocondrial, la despolarización de la membrana y la liberación de citocromo C como respuesta a los cambios del superóxido dismutasas (SOD), glutatión peroxidasa, y estrés oxidativo.

4) Incrementan los mensajeros Ca^{2+} , cAMP y cGMP, sin estimulación eléctrica (al inhibir Ca^{2+} -ATPasa), regulando las actividades de enzimas dependientes de Ca^{2+} como la calmodulina dependiente de la proteína quinasa II (CAMKK β), y que tienen papel crucial en la regulación del metabolismo y en las funciones cardiovasculares. Estimulan la vasorelajación (por las cAMP y cGMP) de la aorta, y la producción de nucleótidos cíclicos, con efectos benéficos en la fisiología cardiovascular. Modulan la expresión de genes al inhibir los factores de transcripción (Sp1, NF- κ B, AP-1, STAT1, STAT3 y FOXO1) y la expresión de NF- κ B; además inhiben la STAT1 mediante efectos protectores del daño al miocardio.

5) Inhiben la transcripción de FOXO1 guiando la supresión de los niveles basales de endotelina-1 y la diferenciación de adipocitos. Adicionalmente, en la mitocondria favorecen el uso de la grasa al reducir la expresión de leptina y estearil-CoA desaturasa e incrementando la oxidación de grasa.

6) Inhiben la ADN metiltransferasa, revirtiendo la silenciación de genes inductores de la metilación (disminuyendo las mutaciones genéticas).

7) Guían la apoptosis en los macrófagos.

Aunque los extractos de HS cambian el poder oxidativo del plasma sanguíneo, incrementando el glutatión intracelular, su mayor potencial se tiene en la disminución del sistema renina-angiotensina-aldosterona (RAS), que interviene en la regulación de electrolitos, la presión sanguínea y el funcionamiento cardíaco ⁽⁵⁰⁾, y en la elevación de adrenalina, catecolaminas y noradrenalina (por la activación específica de la angiotensina

(AngII) en la zona simpático-excitatoria en el cerebro)⁽⁵¹⁾. Guerrero et al.,⁽⁵²⁾ probaron la capacidad inhibitoria de la enzima convertidora de la Ang (ACEi) de 17 tipos de flavonoides, la actividad ACEi fue mayor cuando: 1) el grupo catecol está en el anillo- β (3', 4'-dihidroxi); 2) hay un doble enlace entre los carbonos C2 y C3 de los anillos de C; y 3) hay alguna cetona en el C4 del anillo de C. En tanto que la ausencia del grupo carbonil en C4 de las EGCG reduce su capacidad ACEi, la estructura química de las delfinidinas-3-*O*-sambubiósido y cianidinas-3-*O*-sambubiósido tienen gran potencial ACEi.

Parichatikanond et al.,⁽⁵⁰⁾ en su estudio con células *in vitro*, encontró que las delfinidinas-3-*O*-sambubiósido y cianidinas-3-*O*-sambubiósido inhibieron del 43 al 50% la ACE (contra el control, 30% menos que el uso de captopril). Sin embargo, estas antocianinas parecen intervenir en la reducción de dos procesos del RAS, utilizando RT-qPCR se analizaron los mRNA de ACE y renina, encontrando que las delfinidinas-3-*O*-sambubiósido y las cianidinas-3-*O*-sambubiósido redujeron 37 a 52% la expresión de rRNA de la ACE (porcentajes similares estadísticamente al captopril), y de 50 a 52% la expresión rRNA de renina (porcentaje superior al testigo y al captopril). Para probar el efecto clínico de las antocianinas de HS, Nurfaradilla et al.,⁽⁵³⁾ bloquearon la arteria renal izquierda de ratones (hipertensión 2K1C) y administraron extractos de HS (30 mg/200 g peso), captopril, y combinaciones de captopril+HS; el tratamiento con HS redujo la presión sistólica un 17% (aproximadamente 150 control vs. 120 HS, vs. 106 captopril), y la diastólica un 27% (aproximadamente 125 control vs. 88 HS, vs. 80 captopril), aunque captopril y HS redujeron la renina plásmica y el nivel de AngII, HS disminuyó la actividad de ACE (1.5 $\mu\text{mol/mL/min}$ control vs. 0.40 $\mu\text{mol/mL/min}$ HS, vs. 0.30 $\mu\text{mol/mL/min}$ captopril).

Otras acciones farmacológicas de los cálices de HS incluyen las antihipercolesterolémicas y antipiréticas, antibacterianas, antivirales y antihelmínticas ^(13, 54).

3. Las antocianinas en la alimentación y comportamiento productivo de rumiantes

4.1. Efectos derivados de la digestibilidad ruminal, cinética y proporción de ácidos grasos volátiles, y producción de gas metano. Los efectos del uso de HS dependen de las actividades antioxidantes en el interior del rumen, y la capacidad de sus moléculas para llegar sin modificaciones al intestino delgado. Aunque algunos resultados de experimentos *in vitro* utilizando antocianinas parecen no haber encontrado diferencias en la degradabilidad y cinética de producción de gases ^(55, 30, 31), éstas mejoran la capacidad antioxidante en el interior del rumen ^(30, 31). Algunos tipos de flavonoides (especialmente los taninos) tienen efectos en las poblaciones de microorganismos ruminales ^(17, 45), modificando la cinética de producción de gases y las proporciones de ácidos grasos volátiles (AGV).

La estructura química, absorción, distribución y eliminación de los flavonoides, afectan la interacción y/o sinergismo con las bacterias ruminales, haciendo muy difícil determinar con exactitud su resultado en el rumen, pero la actividad antioxidante y antimicrobiana de las antocianinas de HS se asocian a la reducción de gas metano y N-amoniaco (CH_4 y NH_3) ^(45, 57), que particularmente, se han relacionado con modificaciones en los subproductos que afectan a las poblaciones de microorganismos encargados de la producción de metano; aunque, también pueden afectar a otras poblaciones de microorganismos e interactuar

negativamente con las enzimas fibrolíticas endógenas y con ello, reducir la digestibilidad de la fibra, y el aprovechamiento de las proteínas ⁽⁵⁷⁾.

Aunque los efectos de HS en el rumen podrían ser similares a los otros alimentos ricos en polifenoles, que por su alto contenido de lignina tienen menor digestibilidad de la materia seca (DMS), su actividad antioxidante puede modificar y mejorar la biohidrogenación de los ácidos grasos ⁽⁵⁷⁾, favoreciendo la proporción de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) de la grasa en leche y la carne ⁽⁵⁸⁾.

3.2. *Efectos derivados de la absorción de las antocianinas fuera del rumen.* Algunos polifenoles son hidrolizados y transformados por la actividad enzimática de las bacterias ruminales ⁽⁵⁰⁾, los metabolitos secundarios, pasan por el epitelio ruminal y los no absorbidos, se bio-convierten en el intestino delgado, como ocurre en no rumiantes ⁽⁵⁹⁾, pudiendo pasar al plasma sanguíneo ^(34, 57, 60, 61) y depositarse en los tejidos ^(45, 46).

El uso de antocianinas se ha probado que puede mejorar la resistencia del plasma a la oxidación en ovinos ^(32, 62). La deposición de cianidina-3-*O*-sambubiósido, delphinidina-3-*O*-sambubiósido y otros flavonoides en tejido pulmonar, cardíaco, renal y hepático parece ser un hallazgo consistente en diversos estudios ⁽⁴⁶⁾. Lo anterior sugiere que el uso de antocianinas puede mejorar la capacidad antioxidante de la carne y la leche de los rumiantes lo que adicional al incremento y mejor perfil de PUFA derivados por las modificaciones en la biohidrogenación de los ácidos grasos en el interior del rumen, mejorando consistentemente la calidad de estos productos destinados al consumo humano.

Aunque su volumen de producción de leche y sus contenidos de sólidos totales y lactosa, parecen no ser afectados positivamente por la adición de alimentos ricos en antocianinas ⁽³²⁾, ya que una de las potenciales aplicaciones clínicas de las antocianinas delfinidina-3-*O*-sambubiósido y cianidina-3-*O*-sambubiósido de HS son su potencial para reducir la hiperestimulación del RAS, hipotéticamente, al igual que en humanos, la suplementación de estas moléculas pueden afectar la homeostasis del rumiante e incrementar con ello, la producción de leche ⁽⁶³⁾.

Una de las implicaciones precautorias de la inclusión de delfinidina-3-*O*-sambubiósido y cianidina-3-*O*-sambubiósido de HS en la alimentación de rumiantes, es que, sus efectos en la fertilidad aún no han sido estudiados. Otros alimentos ricos en polifenoles, como el café, han probado mejorar la calidad del semen ⁽⁶⁴⁾, pero han reducido el porcentaje de fertilización aún sin modificar los perfiles hormonales de progesterona, estradiol y hormona folículo estimulante (FSH) ⁽⁶¹⁾, no obstante, el uso de otros antioxidantes como el selenio y el α -tocoferol han mostrado potencial para mejorar algunos parámetros reproductivos ⁽²⁷⁾.

El efecto específico del uso de las antocianinas de HS en la reproducción de rumiantes deberá estudiarse en un futuro, pero en teoría, podría ser recomendable su inclusión durante las etapas de producción de leche y carne, y suspenderse durante el estro.

4. Efectos en la vida de anaquel de la leche y carne

Además de los potenciales efectos positivos del consumo de carne y leche con mejores contenidos de antioxidantes para la salud humana. Las antocianinas de HS pueden mejorar la vida de anaquel de la carne al funcionar como antioxidantes y antimicrobianos ^(65, 66, 67),

evitando los procesos de oxidación de lípidos y proteínas (formación de hiperperóxidos, aldehídos y cetonas), autólisis y contaminación microbiológica ^(28, 68, 69, 70).

5. Subproductos: semilla de *Hibiscus Sabdariffa* L.

Como otros residuos y subproductos agrícolas, el uso de la semilla, tallo y follaje de la HS en la alimentación animal podría tener un impacto ambiental positivo debido a la reducción de la demanda y producción de granos destinados a la ganadería ^(71, 72, 72). Ofrecer alimentos no convencionales puede reducir los costos de producción sin impactar negativamente el comportamiento productivo animal ^(67, 74, 75, 76).

La semilla de HS es usualmente un subproducto agrícola al no contar con un mercado objetivo específico. La cantidad de compuestos fenólicos y actividad antioxidante de la semilla de HS puede ser equivalente o mayor a la de los cálices ⁽⁷⁷⁾, por lo que los efectos potenciales antioxidantes podrían hipotéticamente asemejarse a los observados en los trabajos con cálices; considerando que su potencial dependerá de su interacción entre microorganismos ruminales-paredes celulares-actividades enzimáticas endógenas.

La composición química promedio aporta 27.9 ± 10 g/100 g de proteína cruda (PC), 18.8 ± 8.6 g de extracto etéreo (EE), 16.8 ± 11.1 g de fibra cruda (FC) y 5.86 ± 3.2 g de cenizas, por cada 100 g de materia seca (MS) ^(74, 78) (Cuadro 1).

Su aporte de PC es similar al de semillas como la Canola o la Soya ⁽⁷⁹⁾, y cuyo EE está compuesto principalmente por ácidos grasos insaturados como el Oleico y Linoleico (n-9 y n-6) ($37.68 \pm 1.10\%$ y $34.14 \pm 1.25\%$; Cuadro 2) ^(10, 80, 81).

Rahman et al. (2016), reportan digestibilidades *in situ* (DIS) de la MS y la PC de la semilla HS similares a las de la pasta de girasol y cacahuete. Trabajos anteriores han sustituido hasta el 75% del aporte de proteína con semilla de HS, sin efectos negativos ⁽⁷⁸⁾, o en menores niveles de inclusión ($\leq 25\%$) con efectos positivos en el peso al sacrificio, peso vacío, porcentaje de rendimiento sobre peso vivo, y peso de la canal caliente ⁽⁸³⁾. Para Beshir y Babiker ⁽⁸⁴⁾, el incluir del 10 al 20% de la MS de dietas con semilla de HS mejora el contenido y calidad de la grasa, y la coloración de la carne de borrego; lo que pudiera ser explicado porque, el suplementar grasas con altas proporciones de ácidos grasos insaturados de cadena larga (n-3, n-6 y n-9), puede incrementar la formación de compuestos intermedios n-3, que han probado mejorar la producción y calidad de la composición de la grasa de la leche y la carne ^(85, 86, 87).

6. Limitaciones y perspectivas

Estudios futuros podrán enfocarse en relacionar la actividad antioxidante de las antocianinas de HS con sus efectos en los metabolitos y potenciales interacciones negativas y/o sinergismos con microorganismos, en este sentido, las técnicas que abordan el análisis de la cinética de fermentación, y herramientas como la metagenómica y la metabolómica, serán útiles para integrar las actividades antioxidantes y antimicrobianas en el complejo celulares-bacterias ruminales-enzimas endógenas. Las antocianinas de HS pueden reducir la emisión potencial de CH₄, sin embargo, el uso de la semilla de HS, considerada un subproducto, podría contribuir a la reducción del impacto ambiental por la producción pecuaria, por lo que se requieren más trabajos que ayuden a determinar los efectos antioxidantes de la semilla de HS en el comportamiento productivo de rumiantes.

Aunque los polifenoles de diferentes componentes de HS modifican la biohidrogenación de las grasas en el rumen y pueden acumularse en los tejidos mejorando la calidad de la grasa y balance de antioxidantes de la leche y la carne de rumiantes, establecer el efecto de HS en la degradabilidad de la fibra y en el RAS, puede ayudar a generar estrategias que permitan mejorar la composición sin abatir la producción de la leche. En el aspecto reproductivo, otros alimentos ricos en fenoles y polifenoles muestran resultados inconsistentes en la tasa de fertilidad y calidad del semen.

7. Conclusiones

En rumiantes, la contaminación, la alta exigencia metabólica, las dietas altas en granos, las enfermedades bacterianas y virales, los parásitos, y el estrés calórico, son fuentes de especies reactivas de oxígeno (ROS). El exceso de ROS rompe con el equilibrio oxidativo y antioxidativo de los animales. La jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L. (HS)), contiene flavonoides del tipo antocianinas, con alto potencial antioxidante, antibacteriano, antiviral y antihelmíntico. Las moléculas cianidina-3-*O* sambubiósido y delphinidina-3-*O*-sambubiósido se encuentran en mayor proporción con respecto a otras antocianinas en HS, y diferencian sus potenciales usos clínicos y en la producción animal de otros productos altos en flavonoides con mayor aporte de epigallocatequinas-3-galato (EGCG) y epicatequinas-3-galato. En tanto que las EGCG muestran un alto potencial en la regulación de la apoptosis, tienen efectos cardioprotectores y reducen la obesidad, las cianidinas-3-*O*-sambubiósido y delphinidinas-3-*O*-sambubiósido son capaces de reducir la acción sistema renina-angiotensina-aldosterona (RAS) actuando como inhibidores de la enzima

convertidora de la angiotensina (ACEi) y reduciendo la expresión de la renina. Dentro del rumen, HS parece tener algunas actividades antimicrobianas específicas, que al igual que los taninos, podría afectar a algunos microorganismos productores de metano (CH₄), pero también interactuar negativamente con los sustratos y bacterias fibrolíticas, y con enzimas endógenas, reduciendo la degradabilidad potencial de la fibra. Al intervenir en los procesos de biohidrogenación de las grasas, las antocianinas de HS pueden mejorar la calidad de la grasa de leche y carne. Fuera del rumen, son absorbidos en el intestino y pasan al torrente sanguíneo, incrementando la resistencia del plasma a la oxidación; adicionalmente, se acumulan en los tejidos; incrementando la calidad antioxidante de la leche y carne. No hay suficiente evidencia que permita establecer cómo el efecto de HS en el RAS podría mejorar el volumen de leche producida, y en el área reproductiva, el porcentaje de fertilización y calidad del semen. Asimismo, no se conoce el efecto de los antioxidantes de semilla de HS (que contiene igual o mayor cantidad de polifenoles que los cálices) en rumiantes, pero determinados niveles de inclusión de la semilla han probado no afectar negativamente o incluso mejorar el balance de grasas de la carne y la ganancia de peso.

8. *Literatura citada*

1. Sáyago ASG, Arranz S, Serrano J, Goñi I. Dietary fiber content and associated antioxidant compounds in Roselle flower (*Hibiscus sabdariffa* L.) beverage. *J Agric Food Chem* 2007; 55(19):7886-7890.
2. Fagbenhro OA. Soybean meal substitution with Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) seed meal in dry practical diets for fingerlings of the African Catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). *J Anim Vet Adv* 2005; 4(4):473-477.
3. SAGAR. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Plan rector nacional sistema producto jamaica. Comité nacional sistema producto jamaica. México. 2012
4. Ariza FR, Serrano AV, Navarro GS, Ovando CM, Vázquez GE, Barrios AA, *et al.* Variedades mexicanas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) ‘alma blanca’ y ‘rosalíz’ de color claro, y ‘cotzaltzin’ y ‘tecoanapa’ de color rojo. *Rev Fitotec Mex* 2014; 37(2):181–185.
5. Aragón GA, Torija T, Avelleira CR, Tapia R, Contreras MIR, López OJF. Control de plagas de la jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) con *Gliricidia sepium* (Jacq.) en Chiautla de Tapia, Puebla. *Rev AIA* 2008; 12(3):33-42.
6. SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Producción agrícola 2018. http://nube.siap.gob.mx/cierre_agricola/ Consultado 17 Oct, 2018.
7. FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Hibiscus*: Post-harvest Operations. INPhO- Post-harvet Compendium. Roma, Italia. 2004.
http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/inpho/docs/Post_Harvest_Compendium_-_Hibiscus.pdf Accessed Oct 18, 2018.

8. Cid OS, Guerrero BJA. Propiedades funcionales de la Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.). Rev TSIA 2012; 6 (2):47-63.
9. Da-Costa RI, Bonnlaender B, Sievers H, Pischel I, Heinrich M. *Hibiscus sabdariffa* L. A phytochemical and pharmacological review. Food Chem 2014; 165:424–443.
10. Rustan AC, Devron C. Fatty acids: structures and properties. Encycl Life Sci 2005; 1-7.
11. Jabeur I, Pereira E, Barros L, Calhelha RC, Sokovic M, Oliveira MB, *et al.* *Hibiscus sabdariffa* L. as a source of nutrients, bioactive compounds and colouring agents. Food Res Int 2017; 100:717–723.
12. Formagio ASN, Ramos DD, Vieira MC, Ramalho SR, Silva MM, Zárata NAH, *et al.* Phenolic compounds of *Hibiscus sabdariffa* and influence of organic residues on its antioxidant and antitumoral properties. Braz. J. Biol 2015; 75(1):69-76.
13. Ali BH, Wabel NA, Bluden G. Phytochemical, pharmacological and toxicological aspects of *Hibiscus sabdariffa* L.: A review. Phytother Res 2005; 19(5):369-375.
14. Bergmeier D, Berres PHD, Filippi D, Bilibio D, Bettiol VR, Priamo WL. Extraction of total polyphenols from hibiscus (*Hibiscus sabdariffa* L.) and waxweed / “sete-sangrias” (*Cuphea carthagenensis*) and evaluation of their antioxidant potential. Acta Sci Technol 2014; (36):545-551.
15. Borrás-Linares I, Fernández-Arroyo S, Arráez-Roman D, Palmeros-Suárez PA, Del Val-Díaz R, Andrade-González I, *et al.* Characterization of phenolic compounds, anthocyanidin, antioxidant and antimicrobial activity of 25 varieties of Mexican Rosselle (*Hibiscus sabdariffa*). Ind Crop Prod 2015; (69):385-394.

16. Pour PM, Fakhri S, Asgary S, Farzaei MH, Echeverría J. The signaling pathways, and therapeutical targets of antiviral agents: Focusing on the antiviral approaches and clinical perspectives of anthocyanin in the management of viral diseases. *Front Pharmacol* 2019; 10: No. 1207.
17. Vasta V, Daghighi M, Cappucci A, Buccioni A, Serra A, Viti C, *et al.* Invited review: Plant polyphenols and rumen microbiota responsible for fatty acid biohydrogenation, fiber digestion, and methane emission: Experimental evidence and methodological approaches. *J Dairy Sci* 2019; (102):3781-3804.
18. Guardiola S, Mach N. Potencial terapéutico del *Hibiscus sabdariffa*: una revisión de las evidencias científicas. *Endocrinol Nutr* 2014; 61(5):274-295.
19. Hygreeva D, Pandey MC, Radhakrishna K. Potential applications of plant-based derivatives as fat replacers, antioxidants and antimicrobials in fresh and processed meat products. *Meat Sci* 2014; 98:47–57.
20. Agüero M, Segura C, Parra J. Análisis comparativo de compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante de cuatro marcas de tisanas de *Hibiscus sabdariffa* (Malvaceae) comercializadas en Costa Rica. *Uniciencia* 2014; 28(1):34-42.
21. Satúe-Gracia MT, Heinonen M, Frankel EN. Anthocyanins as Antioxidants on Human Low-Density Lipoprotein and Lecithin–Liposome Systems. *J. Agric. Food Chem* 1997; 45(9):3362–3367
22. Kähkönen MP, Hopia AI, Vuorela HJ, Rauha JP, Pihlaja K, Kujala TS, *et al.* Antioxidant Activity of Plant Extracts Containing Phenolic Compounds. *J Agric Food Chem* 1999; 47(10):3954-3962.

23. Galicia-Flores LA, Salinas-Moreno Y, Espinoza-García BM, Sánchez-Feria C. Caracterización fisicoquímica y actividad antioxidante de extractos de jamaica (*Hibiscus Sabdariffa L.*) Nacional e importada. Rev Chapingo Ser Hortíc 2008; 14(2):121-129.
24. Borrás LA, Salinas-Moreno Y, Espinoza-García BM, Sánchez-Feria C. Caracterización fisicoquímica y actividad antioxidante de extractos de jamaica (*Hibiscus Sabdariffa L.*) Nacional e importada. Rev Chapingo Ser Hortíc 2008; 14(2):121-129.
25. Sindi HA, Marshall LJ, Morgan MRA. Comparative chemical and biochemical analysis of extracts of *Hibiscus sabdariffa*. Food Chem 2014; (164):23–29.
26. Chu C, Deng J, Man Y, Qu Y. Green Tea Extracts Epigallocatechin-3-gallate for Different Treatments. Biomed Res Int 2017; (2017):5615647.
27. Chauhan SS, Celi P, Ponnampalam EN, Leury BJ, Lui F, Dunshea FR. Antioxidant dynamics in the live animal and implications for ruminant health and product (milk/meat) quality: role of vitamin E and selenium. Anim Prod Sci 2014; (54):1525-1536.
28. Cuhna LCM, Monteiro ML, Lorenzo JM, Munekata PE, Muchenje V, Carvalho FA, *et al.* Natural antioxidants in processing and storage stability of sheep and goat meat products. Food Res Int 2018; 111(2018): 379–390.
29. Lorenzo JM, Pateiro M, Domínguez R, Barba FJ, Putnik P, Bursac KD, *et al.* Berries extracts as natural antioxidants in meat products: A review. Food Res Int 2018; 106:1095–1104.

30. Hosoda K, Sasahara H, Matsushita K, Tamura Y, Miyaji M, Matsuyama H. Anthocyanin and proanthocyanidin contents, antioxidant activity, and *in situ* degradability of black and red rice grains. *Asian-Aust J Anim Sci* 2018; 31(8): 1213-1220.
31. Tian X, Paengkoum P, Paengkoum S, Thongpea S, Ban C. Comparison of forage yield, silage fermentative quality, anthocyanin stability, antioxidant activity, and *in vitro* rumen fermentation of anthocyanin-rich purple corn (*Zea mays* L.) stover and sticky corn stover. *J Integra Agri* 2018; 17(9): 2082-2095.
32. Hosoda K, Eruden B, Matsuyama H, Shioya S. Effect of anthocyanin-rich corn silage on digestibility, milk production and plasma enzyme activities in lactating dairy cows. *Anim Sci J* 2012a; 83(6):453-459.
33. Theodorou MK, Kingston-Smith AH, Winters AL, Lee MRF, Minchin FR, Morris P *et al.* Polyphenols and their influence on gut function and health in ruminants: a review. *Environ Chem Lett* 2006; (4):121-126.
34. Gladine C, Rock E, Morand C, Bauchart D, Durand D. Bioavailability and antioxidant capacity of plant extracts rich in polyphenols, given as a single acute dose, in sheep made highly susceptible to lipoperoxidation. *Br J Nutr* 2007; (98):691-701.
35. Olagaray KE, Bradford BJ. Plant flavonoids to improve productivity of ruminants –A review. *Anim Feed Sci Tech* 2019; (251): 21-36.
36. Ametaj BN, Zebeli Q, Saleem F, Psychogios N, Lewis MJ, Dunn SM, *et al.* Metabolomics reveals unhealthy alterations in rumen metabolism with increased proportion of cereal grain in the diet of dairy cows. *Metabolomics* 2010; (6):583-594.

37. Cell P, Gabal G. Oxidant/antioxidant balance in animal nutrition and health: the role of protein oxidation. *Front Vet Sci* 2015; 2 (48):1-13.
38. Estévez M, Li Z, Soladoye OP, Van-Hecke T. Health risks of food oxidation. *Adv Food Nutr Res* 2017; (82): 45-81.
39. Daley CA, Abbot A, Doyle P, Nader GA, Larson S. A review of fatty acid profiles and antioxidant content in grass-fed and grain-fed beef. *Nut J* 2010; 9(10):1-12.
40. He Y, Tan D, Mi Y, Zhou Q, Ji S. Epigallocatechin-3-gallate attenuates cerebral cortex damage and promotes brain regeneration in acrylamide-treated rats. *Food Funct* 2017; 8(6):2275-2282.
41. Ortíz-Romero P, Borralleras C, Campuzano V. Epigallocatechin-3-gallate improves cardiac hypertrophy and short-term memory deficits in a Williams-Beuren syndrome mouse model. *PLoS One* 2018; 13(3):e0194476.
42. Wang Y, Wang B, Du F, Su X, Sun G, Zhou G, *et al.* Epigallocatechin-3-gallate attenuates ureteral obstruction-induced renal interstitial fibrosis in mice. *J Histochem Cytochem* 2015; 63(4):270-279.
43. Palabiyik SS, Dincer B, Cadirici E, Gundogdu C, Polat B, Yayla M, *et al.* A new update for radiocontrast-induced nephropathy aggravated with glycerol in rats: the protective potential of epigallocatechin-3-gallate. *Ren Fail* 2017; 39(1):314-322.
44. Chen LL, Xu Y. Epigallocatechin gallate attenuates uric acid-induced injury rat renal interstitial fibroblasts NRK-49F by up-regulation of miR-9. *Eur Rev Pharmacol Sci* 2018; (21):7458-7469.
45. Klantar M. The importance of flavonoids in ruminant nutrition. *Arch Animal Husbandry & Dairy Sci* 2018; 1(1):1-4

46. Sandoval-Ramírez BA, Catalán U, Fernández-Castillejo S, Rubió L, Macia A, Sola R. Anthocyanin tissue bioavailability in animals: Possible implications for human health. A systematic review. *J Agric Food Chem* 2018; 66:11531-11543.
47. Xiao X, Du C, Yan Z, Shi Y, Duan H, Ren Y. Inhibition of necroptosis attenuates kidney inflammation and interstitial fibrosis induced by unilateral ureteral obstruction. *Am J Nephrol* 2017; 46(2):131-138.
48. Kakuta Y, Okumi M, Isaka Y, Tsutahara K, Abe T, Yazawa K, *et al.* Epigallocatechin-3-gallate protects kidneys from ischemia reperfusion injury by HO-1 upregulation and inhibition of macrophage infiltration. *Transpl Int* 2011; 24(5):514-522.
49. Kim Hae-Suk, Quon MJ, Jeong-A. Kim. New insights into the mechanisms of polyphenols beyond antioxidant properties; lessons from the green tea polyphenol, epigallocatechin 3-gallate. *Redox Biol* 2014; (2):187-195.
50. Parichatikanond W, Pinthong D, Mangmool S. Blockade of the renin-angiotensin system with delphinidin, cyanin, and quercetin. *Planta Med* 2012; (78):1626-1632.
51. Nakamura K, Shimizu T, Yanagita T, Nemoto T, Taniuchi K, Shimizu S, *et al.* Angiotensin II acting on brain AT1 receptors induces adrenaline secretion and pressor responses in the rat. *Sci Rep* 2014; (4):7248.
52. Guerrero L, Castillo J, Quiñones M, Garcia-Vallvé S, Arola L, Pujadas G, *et al.* Inhibition of angiotensin-converting enzyme activity by flavonoids: structure-activity relationship studies. *PLoS One*. 2012; 7(11): e49493.
53. Nurfaradilla SA, Saputri FC, Harahap Y. Effects of *Hibiscus Sabdariffa* calyces aqueous extract on the antihypertensive potency of captopril in the two-kidney-one-clip rat hypertension model. *Evid Based Complement Alternat Med* 2019; Id. 9694212.

54. Nileeka BW, Rupasinghe HP. Plant flavonoids as angiotensin converting enzyme inhibitors in regulation of hypertension. *Funct Food Health Dis* 2011; 1(15):172-188.
55. Elahi MY, Rouzbehan Y, Rezaee A. Effects of phenolic compounds in three oak species on *in vitro* gas production using inoculums of two breeds of indigenous Iranian goats. *Anim Feed Sci Tech* 2012; (176):26-31.
56. Klantar M. The importance of flavonoids in ruminant nutrition. *Arch Animal Husbandry & Dairy Sci* 2018;1(1): ID.000504.
57. Corredeu F, Lunesu ML, Buffa G, Atzori AS, Nudda A, Battacone G, *et al.* Can agro-industrial by-products rich in polyphenols be advantageously used in feeding and nutrition of dairy small ruminants? *Animal* 2020; 10:131.
58. Morales R, Ungerfeld EM. Use of tannins to improve fatty acids profile of meat and milk quality in ruminants: A review. *Chilean J Agric Res* 2015; 75(2): 239-248.
59. Gessner DK, Ringseis R, Eder K. Potential of plant polyphenols to combat oxidative stress and inflammatory processes in farm animals. *J Anim Physiol Anim Nutr* 2016; 101(4): 605-628.
60. Castillo C, Hernández J, López-Alonso M, Miranda M, Benedito JL. Values of plasma lipid hydroperoxides and total antioxidant status in healthy dairy cows: preliminary observations. *Archiv fur Tierzucht* 2003; 46(1):227-233.
61. Salinas-Rios T, Sánchez-Torres-Esqueda MT, Díaz-Cruz A, Cordero-Mora L, Cárdenas-León M, Hernández-Bautista J, *et al.* Oxidative status and fertility of ewes supplemented coffee pulp during estrous synchronization and early pregnancy. *Rev Col Cienc Pecu* 2016; (29):255-263.

62. Hosoda K, Miyaji M, Matsuyama H, Haga S, Ishizaki H, Nonaka K. Effect of supplementation of purple pigment from anthocyanin-rich corn (*Zea mays L.*) on blood antioxidant activity and oxidation resistance in sheep. *Livest Sci* 2012b; 145: 266-270.
63. La Rosa M, Kechichian T, Olson G, Saade G, Prewit EB. Lactation leads to modifications in maternal Renin-Angiotensin System in later life. *Obstet Gynecol* 2020; (27):260-266.
64. Janegrad PA, Kia HA, Moghaddam G, Ebrahimi M. Evaluating caffeine antioxidant properties on Ghezel ram sperm quality after freeze-thawing. *Revue Méd Vét* 2018; 169(10-12):233-240.
65. Zhang M, Hettiarachchy NS, Horax R, Kannan A, Praissoody A, Muhundan AMD, *et al.* Phytochemicals, antioxidant and antimicrobial activity of *Hibiscus sabdariffa*, *Centella asiatica*, *Moringa oleifera* and *Murraya koenigii* leaves. *J Med Plant Res* 2011; 5(30):6672-6680.
66. Valenzuela VC, Pérez PM. Actualización en el uso de antioxidantes naturales derivados de frutas y verduras para prolongar la vida útil de la carne y productos cárneos. *Rev Chil Nutr* 2016; 43(2):188-195.
67. Nikmaram N, Budaraju S, Barba FJ, Lorenzo JM, Cox RB, Mallikarjunan K, *et al.* Application of plant extracts to improve the shelf-life, nutritional and health-related properties of ready-to-eat meat products. *Meat Sci* 2018; (145):245-255.
68. Karre L, Lopez K, Getty KJ. Natural antioxidants in meat and poultry products. *Meat Sci* 2013; (94):220–227.

69. Falowo AB, Fayemi PO, Muchenje V. Natural antioxidants against lipid–protein oxidative deterioration in meat and meat products: A review. *Food Res Int* 2014; 64:171–181.
70. Jiang J, Xiong YL. Natural antioxidants as food and feed additives to promote health benefits and quality of meat products: A review. *Meat Sci* 2016; 120:107–117.
71. McGinn SM, Beauchemin KA, Coates T, Colombatto D. Methane emissions from beef cattle: effects of monensin, sunflower oil, enzymes, yeast, and fumaric acid. *J Anim Sci* 2004; (82):3346–3356.
72. Beauchemin K, Kreuzer M, O’Mara FO, McAllister TA. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. *Aust J Exp Agric* 2008; (48):21-27.
73. Knapp JR, Laur GL, Vadas PA, Weiss WP, Tricarico JM. Invited review: enteric methane in dairy cattle production: quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *J Dairy Sci* 2014; (97):3231–3261.
74. Maffo T, Agbor EE, Mekoudjou NH, Kengne SCN, Gouado I. Proximate and mineral composition, protein quality of *Hibiscus sabdariffa* L. (roselle) seeds cultivated in two agroecological areas in Cameroon. *Int J Nutr Food Sci* 2014; 3(4):251-258.
75. Mora AME, Tirado-González DN, Guevara-Lara F, Jáuregui-Rincón J, Larios-González R, Tirado-Estrada G. Calidad nutricional del bagazo de manzana ensilado con fuentes nitrogenadas orgánicas e inorgánicas. *Rev Mex Cienc Agríc* 2018; 9(1):229-235.
76. Tirado-Estrada G, Ramos-Mijangos LM, Miranda-Romero LA, Tirado-González DN, Salem AZM, Mlambo V, *et al.* Potential impacts of dietary *Lemna gibba* supplements

- in a simulated ruminal fermentation system and environmental biogas production. *J Clean Prod* 2018; (18):555-561.
77. Mohd-Esa N, Shin HF, Ismail A, Lye YC. Antioxidant activity in different parts of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extracts a potential exploration of the seeds. *Food Chem* 2010; (122):1055-1060.
78. Sulliman GM, Babiker SA, Eichinger HM. Effect of Hibiscus seed-based diet on chemical composition, carcass characteristics and meat quality traits of cattle. *Indian J Anim Res* 2017; 51(4):694-699.
79. Bellaloui N, Bruns HA, Abbas HK, Mengisty A, Fisher DK, Reddy KN. Agricultural practices altered soybean protein, oil, fatty acids, sugars, and minerals in the Midsouth USA. *Front Plant Sci* 2015; 6(31):1-14.
80. Mahmoud AA, Selim KA, Abdel-Baki MR. Physico-chemical and oxidative stability characteristics of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) seed oil as by-product. *Egypt J Appl Sci* 2008; 23(7):247-257.
81. Tounkara F, Amadou I, Le G, Shi Y. Effect of boiling on the physicochemical properties of Roselle seeds (*Hibiscus sabdariffa* L.) cultivated in Mali. *African J Biotech* 2011; 10(79):18160-18166.
82. Rahman AA, Salih AM, Turki IY, Abdulatee SO, Elbasheir OM, Magboul MM. Determination of dry matter and crude protein degradability of Roselle seed (*Hibiscus sabdariffa*) using bags nylon technique. *Sudan J Sci Tech* 2016; 17(1):58-65.
83. Elamin KM, Hassan HE, Abdalla HO, Arabi OH, Tameem EAA. Effect of feeding crushed roselle seed (*Hibiscus sabdariffa* L.) on carcass characteristics of sudan desert sheep. *Asian J Anim Sci* 2012; 6(5):240-248.

84. Beshir AA, Babiker SA. The effect of feeding diet with graded levels of roselle (*Hibiscus sabdariffa*) seed on carcass characteristics and meat quality of sudan desert lamb. Res J Animal Vet Sci 2009; (4):35-44.
85. Christensen RA, Drackley JK, LaCount DW, Clark JH. Infusion of four long-chain fatty acids mixtures into the abomasum of lactating dairy cows. J Dairy Sci 1994; 77(4):1052-1069.
86. Martínez-Borraz A, Moya-Camarena SY, González-Ríos H, Hernández J, Pinelli-Saavedra A. Conjugated linoleic acid (CLA) content in milk from confined Holstein cows during summer months in northwestern Mexico. Rev Mex Cienc Pecu 2010; 1(3): 221-235.
87. Hernández A, Kholif AE, Lugo-Coyote R, Elghandour MMY, Cipriano M, Rodríguez GB, *et al.* The effect of garlic oil, xylanase enzyme and yeast on biomethane and carbon dioxide production from 60-d old Holstein dairy calves fed a high concentrate diet. J Clean Prod 2017; 148:616-623.
88. Wang ML, Morris B, Tonnis B, Davis J, Pederson GA. Assessment of oil Content and fatty acid composition variability in two economically important *Hibiscus* species. J Agric Food Chem 2012; (60):6620–6626.
89. Ismail A, Khairul IE, Mohd NH. Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) seeds-nutritional composition, protein quality and health benefits. Global Sci Book Food 2008; 2(1):1-16.
90. Shaheen MA, El-Nakhlawy FS, Al-Shareef AR. Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) seeds as unconventional nutritional source. African J Biotech 2012; 11(41):821-9824.

91. Udayasekhara RP. Nutrient composition and biological evaluation of mesta (*Hibiscus sabdariffa*) seeds. *Plant Foods Hum Nutr* 1996; (49):27-34.
92. Jínez MT, Cortés CA, Ávila GE, Casaubon MA, Salcedo ER. Efecto de niveles elevados de semilla de jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) en dietas para pollos sobre el comportamiento productivo y funcionamiento hepático. *Veterinaria Mexicana* 1998; 29(1):35-40.
93. Kwari ID, Igwebuiké JU, Mohammed ID, Diarra S.S. Growth, haematology and serum chemistry of broiler chickens fed raw or differently processed sorrel (*Hibiscus sabdariffa*) seed meal in a semi-arid environment. *IJSN* 2011; 2(1):22-27.
94. Mukhtar AM. The Effect of Feeding Rosella (*Hibiscus Sabdariffa*) Seed on Broiler Chick's Performance. *Res J Anim Vet Sci* 2007; (2):21-23.
95. Soriano TJ, Tejada HI. Estudio preliminar del valor nutritivo de la semilla de jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) para el pollo de engorda. *Técnica Pecuaria Mexicana* 1995; (33):48-52.
96. Anhwange BA, Ajibola VO, Okibe FG. Nutritive value and anti-nutritional factors in *Hibiscus sabdariffa*. *J Fish Intl* 2006; 1(2-4):73-76.

Cuadro 1. Composición química de la semilla de jamaica.

Autores	MS	PC	EE	FC	CEN
	%		g/100 MS		
Maffo et al. ⁽⁷⁴⁾	90.0	22.0	22.0	20.0	6.1
Wang et al. ⁽⁸⁸⁾	NR	NR	18.0	NR	NR
Ismail et al. ⁽⁸⁹⁾	90.0	33.5	22.1	18.3	NR
Shaheen y El-Nakhlawy ^{(90)*}	NR	31.4	23.2	1.29	5.5
Udayasekhara ^{(91)**}	92.4	20.6	21.0	11.1	5.4
Beshir y Babikier ⁽⁸⁴⁾	96.6	30.3	11.1	5.1	5.6
Fagbrnhro ⁽²⁾	92.6	39.4	6.1	17.7	11.4
Jínez et al. ⁽⁹²⁾	92.5	20.6	18.0	23.7	6.7
Kwari et al., ⁽⁹³⁾	NR	38.6	NR	13.5	NR
Mukhtar ⁽⁹⁴⁾	91.8	21.4	17.4	12.0	5.3
Soriano y Tejeda ⁽⁹⁵⁾	92.7	24.8	17.8	22.9	1.6
Anhwange et al. ⁽⁹⁶⁾	94.0	19.8	28.0	6.3	5.6
Toukara et al. ⁽⁸¹⁾	91.8	27.3	20.8	NR	4.5

MS, materia seca; PC, proteína cruda; EE, extracto etéreo; FC, fibra cruda; CEN, cenizas; NR, no reportado; *Promedio de tres variedades; **Promedio de dos variedades.

Cuadro 2. Porcentaje de ácidos grasos reportados en las semillas y cáliz de la jamaica.

	Semilla		Cáliz
	Toukara et al. ⁽⁸¹⁾	Mahmoud et al. ⁽⁸⁰⁾	Jabeur et al. ⁽¹¹⁾
Ácidos grasos saturados (%)			
Mirístico (C14:0)	0.21	0.26	1.24 ± 0.01
Palmítico (C16:0)	19.21	20.52	27.73 ± 0.02
Esteárico (C18:0)	5.13	5.79	4.46 ± 0.01
Araquidónico (C20:0)	0.67		1.02 ± 0.05
Ácidos grasos insaturados (%)			
Palmitoleico (C16:1)	0.36		1.32 ± 0.04
Oleico (C18:1)	36.9	38.46	9.1 ± 0.1
Linoleico (C18:2)	35.02	33.25	32.65 ± 0.07
α -linoleico (C18:3)	1.85	1.69	15.76 ± 0.04

**CAPITULO 3. EVALUACIÓN NUTRIMENTAL Y FERMENTACIÓN
IN VITRO DE LA PAJA DE JAMAICA (*HIBISCUS SABDARIFFA*
L.)**

**NUTRITIONAL EVALUATION AND *IN VITRO* FERMENTATION OF JAMAICA
STRAW (*HIBISCUS SABDARIFFA L.*)**

Lazalde-Cruz R.¹, Tirado-Estrada G.², Mendoza-Martínez, G. D.³, Lara-Bueno A.⁴, Tirado-González D. N.⁵ Miranda-Romero L. A.⁶.

^{1, 4, 6}*Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Departamento de Zootecnia, Posgrado en Producción Animal.*

^{2, 5}*Instituto Tecnológico El Llano Aguascalientes. División de Estudios de Posgrado e Investigación (DEPI).*

³*Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco, México.*

Resumen

Se desconoce el potencial alimenticio para rumiantes y la producción de metano ruminal de la paja de la planta de jamaica (*Hibiscus sabdariffa L.*). Se evaluó el contenido de PC, FDN FDA, EE, así como la digestibilidad, la producción de gas y metano *in vitro*, y los indicadores del potencial de calentamiento global (IPCG) e impacto ambiental (IIA) de la semilla, hoja, tallo y receptáculo de la paja de cinco variedades de jamaica. El diseño fue completamente al azar con arreglo de tratamientos factorial 4*5 (componente*variedad). La interacción entre estos dos factores afectó ($P<0.05$) la PC, EE y las variables de fermentación. Con excepción de una de las variedades, la PC mostró la secuencia siguiente: semilla (18.3 a 22.6%), hoja (10.2 a 16.7%), receptáculo (6.7 a 10.3%) y tallo (1.3 a 3.3%). La semilla de dos variedades mostró mayor ($P<0.05$) contenido de EE (14.79 y 9.84%). La FDN fue menor ($P<0.05$) en la hoja (22.35 %) con respecto a la semilla, tallo y receptáculo (57.1, 51.2 y 48.4%). La FDA difirió ($P<0.05$) de acuerdo con la tendencia siguiente: semilla > tallo > receptáculo > hoja. La digestibilidad y producción de gas fueron mayores ($P<0.05$) para el tallo y hoja respecto a la semilla y receptáculo, y cuyos valores son mayores al de otras pajas y rastrojos. Las hojas de tres variedades produjeron más CH_4 y tuvieron mayor IPCG e IIA ($P<0.05$). Se concluye que la paja de jamaica tiene buena composición nutrimental, calidad fermentativa y digestibilidad, pero alto potencial de emisión de metano, por lo que es conveniente investigar su efecto como ingrediente en dietas balanceadas.

Palabras Clave: paja de jamaica, impacto ambiental, determinación indirecta de metano, alimento para rumiantes.

Abstract

The feed potential for ruminants and the production of ruminal methane from the straw of the jamaica plant is unknown. The content of CP, NDF, ADF, EE was evaluated, as well as the digestibility, the production of gas and methane *in vitro*, and the indicators of the global warming potential (IPCG) and environmental impact (IIA) of the seed, leaf, stem, and receptacle of the straw of five varieties of jamaica. A completely randomized design was used with a 4 * 5 factorial treatment arrangement (component * variety). With the exception of one variety, the CP showed the following sequence: seed (18.3 to 22.6%), leaf (10.2 to 16.7%), receptacle (6.7 to 10.3%) and stem (1.3 to 3.3%). The seed of two varieties showed higher (P <0.05) content of EE (14.79 and 9.84%). The NDF was lower (P <0.05) in the leaf (22.35%) with respect to the seed, stem and receptacle (57.1, 51.2 and 48.4%). The ADF differed (P <0.05) according to the following trend: seed > stem > receptacle > leaf. The digestibility and gas production were higher (P <0.05) for the stem and leaf compared to the seed and receptacle, and whose values are higher than those of other straws and stubble. The leaves of three varieties produced more CH₄ and had higher IPCG and IIA (P <0.05). It was concluded that hibiscus straw has good nutritional composition, fermentative quality and digestibility, but high potential for methane emission, so it is convenient to investigate its effect as an ingredient in balanced diets.

Key Words: hibiscus straw, environmental impact, indirect determination of methane, feed for ruminants.

Introducción

La flor de jamaica es un producto agrícola apreciado en el mundo por la diversidad de derivados alimenticios que se obtienen con ella y por sus propiedades nutraceuticas ^(1,2), mientras que la producción mundial alcanza las 97,975 t anuales ⁽³⁾. De acuerdo con diversas investigaciones ⁽⁴⁻⁷⁾, la flor de la jamaica representa el 15% del total de la planta al momento de la cosecha y, por consiguiente, la producción mundial de paja puede llegar a ser de 653,166 t año⁻¹, compuesta de tallo, hoja, receptáculo y semilla. La paja de la jamaica es comúnmente quemada con el fin de limpiar y preparar las parcelas para el siguiente cultivo. Esta práctica no solo es una fuente de contaminación atmosférica y contrapuesta a la sustentabilidad de los sistemas de producción ⁽⁸⁻¹⁰⁾, sino además se desperdicia gran cantidad de biomasa que puede usarse como forraje en la alimentación de rumiantes ^(11,12). Por otro lado, el 90% del gas producido en la fermentación ruminal se conforma de CO₂ y CH₄, los cuales son considerados gases de efecto invernadero y que, además, el CH₄ constituye una pérdida del 2 al 12% de la energía bruta del alimento ^(13,14). Se ha investigado las características nutritivas y el uso de la semilla de jamaica en alimentación animal ^(15,16), pero se desconocen las propiedades nutritivas, fermentativas y de impacto ambiental de las hojas, tallo y receptáculo de la semilla. En este sentido, la técnica de producción de gas *in vitro* (TPG) se ha usado para estimar la fermentación ruminal de alimentos ⁽¹⁷⁾, la producción potencial de metano ⁽¹⁸⁾ e indicadores de impacto ambiental de alimentos para rumiantes en la que el CH₄ se estima indirectamente mediante la captura del CO₂ en una solución de hidróxido de potasio ^(19,20). El objetivo de la presente investigación fue evaluar la calidad nutritiva y fermentativa *in vitro* de los componentes

botánicos (tallos, hojas, receptáculos y semillas) de la paja de cinco variedades de jamaica y el impacto ambiental potencial de la fermentación ruminal.

Materiales y métodos

Material Vegetal: inmediatamente después de la colecta de la flor en diciembre de 2017, se cosechó la paja de cinco variedades de jamaica: Criolla súper precoz Colima (CSPC), Jamaica Flor Morada (JFM), Tempranillo Roja Colima (TRC), Tempranillo Tipo Flor Colima (TTFC) y Universidad Autónoma de Nayarit (UANG1), las cuales fueron sembradas a 1,630 msnm en Calvillo, Aguascalientes, México. La temperatura media osciló entre 18° y 22°C y la precipitación media anual fue de 660 mm ⁽²¹⁾. Los componentes botánicos de la paja: tallo, hoja, semilla y receptáculo; fueron separados de la planta y secados en una estufa de aire forzado a 65°C por 48 h, y molidos (<2mm) para su análisis químico y fermentativo *in vitro*.

Análisis químico y fermentativo: a las muestras de cada componente se les determinó el contenido de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) ⁽²²⁾, así como de proteína cruda (PC), cenizas (CEN) y extracto etéreo (EE) ⁽²³⁾. Las muestras también se usaron para determinar las fracciones (g kg⁻¹ MS) de rápida (FFR), media (FFM) y lenta (FFL) fermentación ^(24,25) con base en la técnica de producción de gas ^(26,27). Al final de la incubación, el contenido de los frascos se filtró en papel filtro (Whatman 541; poro 10 µm), se secaron a 65°C por 48 h y se pesaron para calcular la materia seca residual y con ella la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS).

Indicadores de impacto ambiental: Las muestras de componentes botánicos del esquilmo de Jamaica fueron fermentados *in vitro* de acuerdo con el procedimiento descrito

con anterioridad ⁽¹⁹⁾. El volumen de gas producido se midió a 6, 12, 18 y 24 h de incubación a 39 °C, atrapando el gas en una jeringa de vidrio de 50 mL (BD Yale, Juiz de Fora, Brasil). Después de registrar el volumen de gas, éste fue transferido a frascos de vidrio de 60 mL, herméticamente cerrados con tapón de goma y aro de aluminio, que contenían una solución de hidróxido de potasio (1 N), y se mezcló perfectamente para asegurar la total fijación del bióxido de carbono. El gas residual que retornó a la jeringa fue cuantificado y correspondió al volumen de metano más gases menores (CH_{4+GM}). El CH_{4+GM} fue ajustado a metano teórico (CH₄) usando el factor 0.77⁽²⁸⁾. El volumen de CO₂ se calculó por diferencia del volumen de gas menos el volumen de CH_{4+GM}. Finalmente, se sumaron los valores fraccionales de cada medición (6, 12, 18 y 24 h) y se reportaron como volumen total de gas de fermentación (VTGF; mL g⁻¹ MS inicial) y metano ajustado (CH₄; % del VTGF).

El Indicador del Potencial de Calentamiento Global (IPCG; mL eq de CO₂ g⁻¹ MS) se calculó sumando el volumen de CO₂ y CH₄, este último multiplicado por el factor equivalente de 23 y cuya ecuación fue: IPCG (mL CO₂ eq g⁻¹ MS) = CO₂ (mL g⁻¹ MS) + [CH₄ (mL g⁻¹ MS) * 23]. El Índice de Impacto Ambiental (IIA) correspondió a la relación del IPCG y el VTGF, de acuerdo con la ecuación: IIA (CO₂ eq MS⁻¹) = (IPCG / VTGF) ⁽¹⁹⁾.

Análisis de varianza (ANOVA): los análisis estadísticos se realizaron considerando diseños experimentales completamente al azar (DCA) con arreglo factorial, de acuerdo con el Modelo $Y = \mu + \text{Var}_i + \text{Comp}_j + \text{Var} * \text{Comp}_{ij} + \epsilon_{ijk}$. Dónde: Y = CO₂, CH₄, VTGF, IPCG e IIA, Var_i, es el efecto de la *i*-ésima variedad; Comp_j, es el efecto del *j*-ésimo

componente; Var*Comp_{ij} , es el efecto de la *i*-ésima variedad por el *j*-ésimo componente; ϵ_{ijk} , error aleatorio.

Las significancias, coeficientes de determinación (R^2) y coeficientes de variación (CV) se obtuvieron utilizando Procedimiento General Lineal (Proc GLM), las medias ajustadas se obtuvieron utilizando la instrucción Lsmeans, y los errores estándar (EE) con el Procedimiento de Modelos Mixtos (Proc Mixed). Las DMS fueron calculadas utilizando los valores de los EE considerando un valor de P para las interacciones obtenidas del ANOVA ⁽²⁹⁾.

Resultados y Discusión

Respecto al contenido de nutrimentos, se encontró que la PC y EE fueron afectados ($P < 0.05$) por la interacción variedad*componente (Cuadro 1). Con excepción de la variedad JFM, el contenido de PC fue mayor ($P < 0.05$) en la semilla (18.3 a 22.6%) que en los otros componentes de la paja. En la variedad JFM el contenido de PC en la hoja fue similar ($P > 0.05$) al de la semilla (16.7 vs. 18.3; Cuadro 1). La hoja fue el segundo componente de mayor contenido de PC y el tallo con 1.3 a 3.3% de PC (Cuadro 1). Por su parte, el EE se concentra principalmente en la semilla y la hoja, aunque mostró una variabilidad y SEM altos entre las variedades (Cuadro contenido de PC (10.2 a 16.7%) el cual fue superior ($P < 0.05$) al del receptáculo (6.7 a 10.3%). El EE varió de 0.43 a 1.43% para receptáculo y tallo entre variedades, y fue claramente menor ($P < 0.05$) al encontrado en la semilla para las variedades TTFC y CSPC (14.79 y 9.84%) (Cuadro 1).

Respecto al contenido FDN, FDA y CEN no se encontró efecto ($P > 0.05$) para la interacción variedad*componente ni para el factor variedad de la jamaica. El componente

botánico de la paja si afectó ($P < 0.05$) el contenido de FDN, FDA y CEN (Cuadro 1). Las hojas tuvieron menor ($P < 0.05$) contenido de FDN (22.35 %) en comparación con la semilla, tallo y receptáculo (57.1, 51.2 y 48.4%, respectivamente). El contenido de FDA difirió ($P < 0.05$) entre los componentes de la paja de jamaica de acuerdo con la tendencia siguiente: semilla > tallo > receptáculo > hoja. Por otro lado, el contenido de cenizas fue mayor ($P < 0.05$) en el receptáculo (8.66%) seguido de la hoja (6.98%) y finalmente tallo y semilla (6.36 y 5.51%) (Cuadro 1).

El contenido de FDN de la planta de jamaica (45.9 a 55.8%; Cuadro 1) fue menor al de las pajas de maíz, sorgo y garbanzo (72, 70 y 68%)⁽³⁰⁾, lo cual puede deberse a que la paja de la jamaica se cosechó al momento de la recolección del cáliz, en un estado fenológico (floración) de menor madurez que las pajas de maíz, sorgo y garbanzo, las cuales se cosechan en un estado de mayor madurez (posfloración). De igual forma, la proporción de PC en la hoja de la paja de jamaica fue similar a la de otras malváceas tropicales (10.2 a 16.7%) pero menor al de leguminosas (16 a 26%) y mayor al de gramíneas (4 a 9 %)⁽³¹⁾. Estas características hacen del tallo y la hoja del esquilmo de la jamaica, un alimento de calidad nutritiva mejor a la del rastrojo de maíz y otras pajas de cereales, usadas comúnmente en la alimentación de rumiantes.

Por otro lado, la DIVMS no fue afectada por la interacción variedad*componente ni por la variedad de jamaica ($P > 0.05$), pero sí por el componente botánico ($P < 0.05$) (Figura 1). Tallos y hojas tuvieron mayor DIVMS ($P < 0.05$) en comparación con la semilla y el receptáculo (Figura 1).

Cuadro 1. Análisis químico proximal de los principales componentes de la planta de cinco variedades de jamaica.

Variedad	Componente	FDN	FDA	PC %	CEN	EE
CSPC	Tallo	45.9 ^d	30.8 ^f	1.8 ⁱ	5.1 ^k	1.04 ^c
	Hoja	21.8 ^e	10.9 ^g	10.2 ^g	8.7 ^{cd}	4.90 ^{bc}
	Receptáculo	61.0 ^{abc}	34.1 ^{def}	7.3 ^h	8.0 ^{defg}	0.70 ^c
	Semilla	52.1 ^{bcd}	39.8 ^{bcd}	22.1 ^a	5.7 ^{ik}	9.84 ^{ab}
JFM	Tallo	49.9 ^{bcd}	35.5 ^{def}	3.3 ⁱ	6.4 ^{hij}	1.43 ^c
	Hoja	20.7 ^e	11.9 ^g	16.7 ^{cd}	8.9 ^{cd}	6.61 ^{abc}
	Receptáculo	53.3 ^{abcd}	30.3 ^f	10.3 ^{fg}	8.5 ^{de}	0.62 ^c
	Semilla	63.0 ^{ab}	46.8 ^a	18.3 ^{bc}	5.4 ^{ik}	6.85 ^{abc}
TRC	Tallo	53.9 ^{abcd}	38.1 ^{cde}	2.4 ⁱ	6.5 ^{hij}	0.79 ^c
	Hoja	25.9 ^e	10.3 ^g	14.1 ^e	9.9 ^{bc}	7.37 ^{abc}
	Receptáculo	50.4 ^{bcd}	29.1 ^f	10.6 ^{fg}	7.9 ^{def}	0.78 ^c
	Semilla	58.6 ^{abc}	42.6 ^{abc}	19.7 ^{ab}	5.2 ^k	7.39 ^{abc}
TTFC	Tallo	55.8 ^{abcd}	38.6 ^{bcde}	1.330 ⁱ	7.0 ^{fghi}	0.72 ^c
	Hoja	19.8 ^e	11.6 ^g	14.3 ^{de}	13.1 ^a	7.99 ^{abc}
	Receptáculo	58.8 ^{abc}	32.3 ^{ef}	6.7 ^h	7.3 ^{efgh}	0.48 ^c
	Semilla	50.0 ^{bcd}	35.0 ^{def}	22.6 ^a	5.8 ^{ijk}	14.79 ^a
UANG1	Tallo	50.7 ^{bcd}	33.8 ^{def}	2.1 ⁱ	6.8 ^{ghi}	0.87 ^c
	Hoja	20.8 ^e	12.2 ^g	12.8 ^{ef}	10.5 ^b	6.40 ^{bc}
	Receptáculo	55.8 ^{abcd}	32.7 ^{ef}	8.5 ^{gh}	8.2 ^{def}	0.43 ^c
	Semilla	64.2 ^a	44.6 ^{ab}	18.3 ^{bc}	5.4 ^{ik}	5.84 ^{bc}
Factores		----- P -----				
Tratamiento		0.8435	0.5591	0.3081	0.0027	<.0001
Componente		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Tratamiento*Componente		0.2096	0.1476	0.0085	0.0639	<.0001
SEM		6.893	3.834	1.516	0.732	4.967

FDN = Fibra Detergente Neutro, FDA= Fibra Detergente Ácida, PC = Proteína Cruda, CEN = Cenizas, EE = Extracto Etéreo; CSPC= Criolla Súper Precoz Colima, JFM= Jamaica Flor Morada TRC= Tempranillo Roja Colima, TTFC= Tempranillo Tipo Flor Colima y UANG1= Universidad Autónoma de Nayarit; SEM=Error Estándar de la Media; Medias en la misma hilera con distinta literal son diferentes (P<0.05).

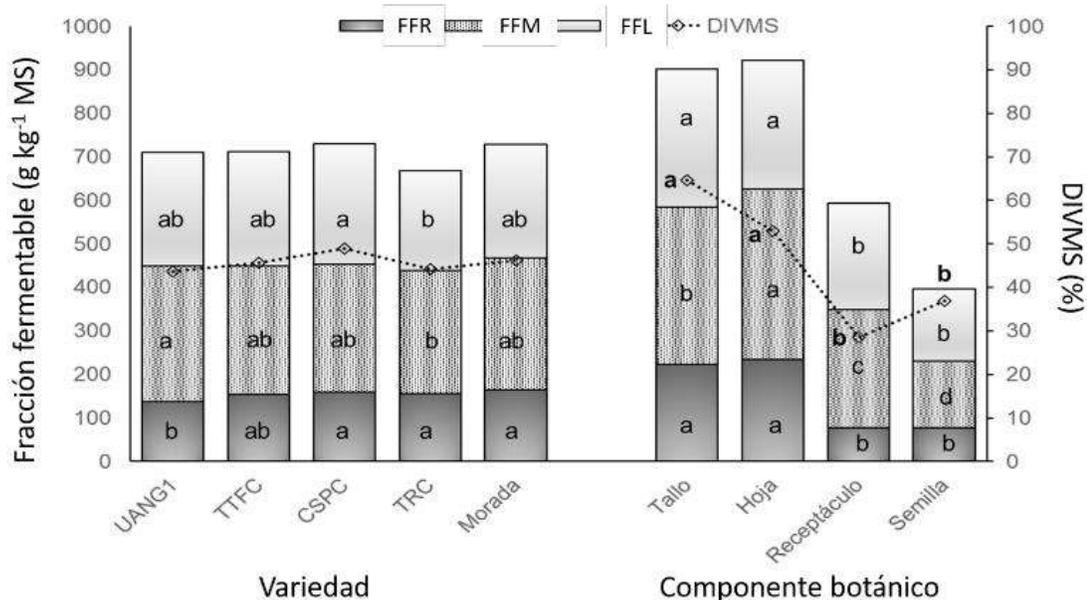


Figura 1. Fracciones de fermentación rápida (FFR), media (FFM), lenta (FFL) y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) de componentes botánicos del esquilmo de cinco variedades de jamaica. CSPC = Criolla Súper Precoz Colima, JFM = Jamaica Flor Morada, TRC = Tempranillo Roja Colima, TTFC = Tempranillo Tipo Flor Colima, UANG1 = Universidad Autónoma de Nayarit G1. ^{a, b, c, d} Literales en la misma fracción fermentable y en la DIVMS son diferentes ($P < 0.05$).

El tallo y la hoja son los mayores componentes de la paja de la planta de jamaica los cuales tuvieron una digestibilidad media de 64.9 y 53% (Figura 1), mayor a la de las pajas de cultivos agrícolas, caracterizados por ser fibrosos ⁽³⁰⁾. Dicha DIVMS fue similar a la de forrajes verdes de buena calidad como la alfalfa y gramíneas (60.4 y 67.8%) ⁽³²⁾, incluso a la DIVMS de leucaena con 30% de concentrado o, con pasto guinea (56%) y concentrado (30%), cuya DIVMS es de 65% y 70.3 % ⁽³³⁾, respectivamente. Lo anterior se atribuyó al menor contenido de FDN de la paja de la jamaica (45.9 a 55.8%; Cuadro 1) comparada con las pajas como maíz, sorgo y garbanzo ⁽³⁰⁾.

La menor DIVMS del receptáculo y semilla de la jamaica (28.5 y 36.9%) respecto a el tallo y hoja, puede atribuirse también al mayor contenido de FDN que varió de acuerdo a la variedad entre 50 a 64.2% (Cuadro 1), lo cual tiene un efecto depresor en la DIVMS

^(34,35). Además, se ha demostrado que la semilla de la jamaica contiene metabolitos secundarios y grasas los cuales pueden inhibir la DIVMS ^(36,37,38); no obstante que en esta investigación el EE en la semilla de las variedades de jamaica estudiadas fue baja ($\leq 9\%$: Cuadro 1) en comparación a la encontrada por otros autores ⁽³⁷⁾.

Con respecto a las fracciones de fermentación, la interacción componente*variedad no afectó ($P > 0.05$) las proporciones de FFR, FFM y FFL, pero estas variables fueron diferentes ($P < 0.05$) entre los componentes y entre las variedades (Figura 1). Con relación al efecto de la variedad de la jamaica, se encontró que las fracciones fermentables FFR y FFM fueron diferentes ($P < 0.05$) entre la variedad TRC y UANG1, mientras que la fracción FFL difirió para la variedad TRC respecto a CSPC (Figura 1). Sin embargo, debido a que no hubo efecto ($P > 0.05$) de variedad*componente, ni de variedad, en el contenido de FDN, FDA y proteína, no se halló explicación precisa a esas diferencias.

Con relación al efecto del componente botánico, se halló que las fracciones FFR y FFL en tallos y hojas fueron mayores ($P < 0.05$) a las de la semilla y receptáculo (Figura 1), lo cual se refleja en la fracción total fermentable, correspondiente a la suma de todas las fracciones de la planta de jamaica (Figura 1), y tiene relación con la DIVMS. Por otro lado, la fracción FFM se comportó de manera diferente ($P < 0.05$) para todos los componentes botánicos de acuerdo con la secuencia siguiente: hoja>tallo>receptáculo>semilla (Figura 1). La mayor fracción FFM en las hojas respecto al tallo ($P < 0.05$), se atribuyó a que el contenido de FDN y FDA en el tallo es mayor al de las hojas ($P < 0.05$) y, en consecuencia, tiene menor contenido celular (Cuadro 1) el cual se compone de MS soluble altamente digestible y fermentable, como el almidón, azúcares y oligosacáridos. Estos carbohidratos están asociados a las fracciones FFR y FFM²⁴. Sin embargo, dado que la fracción FFR no

fue igual ($P>0.05$) para tallo y hoja (Figura 1), se consideró que la diferencia en la FFM ($P<0.05$) entre estos componentes botánicos, se debe posiblemente a un mayor contenido de almidón en la hoja, debido a que fue cosechada en verde.

La fermentación expresada como VTGF (Cuadro 2), depende de la disponibilidad de azúcares y oligosacáridos, los cuales en su mayoría provienen de la digestibilidad previa del sustrato. Por esta razón, la DIVMS tiene una relación directa con VTGF ⁽³⁹⁾; sin embargo, en esta investigación la relación DIVMS y VTGF, tuvo un coeficiente de determinación bajo ($DIVMS=6.22+[0.2554*VTGF]$; $R^2=0.48$), lo que se atribuyó a que VTGF fue afectado por la interacción variedad*componente ($P<0.05$), pero no afectó la DIVMS ($P>0.05$). Otros investigadores también han observado una relación relativamente baja entre DIVMS y producción de gas, expresada como fracción total fermentable del follaje de arbustos ($DIVMS=15.7+0.0527*FFT$; $R^2= 0.622$) ⁽⁴⁰⁾. Igualmente se ha encontrado que los cladodios de ciertos cultivares de nopal que tienen DIVMS alta produjeron menor volumen de gases de fermentación ⁽⁴¹⁾, lo cual demuestra que la fermentación y digestibilidad no siempre tiene alta relación lineal, debido a que son procesos bioquímicos realizados por un conjunto de enzimas distintas, reguladas por factores diferentes; sin embargo, se requiere mayor investigación al respecto.

Las variables de impacto ambiental CH_4 , IIA e IPCG (Cuadro 2) fueron afectadas ($P<0.05$) por la interacción variedad*componente. En cuanto a la producción de metano, los valores encontrados para hojas y tallos fueron similares a los reportados para pajas y rastrojos ^(42,43), aunque los hallados para el receptáculo y la semilla fueron menores. Las hojas de la jamaica produjeron mayor porcentaje de metano ($P<0.05$) que los otros componentes botánicos, con excepción de la variedad UANG1 en la cual el tallo produjo

más CH₄ que la hoja (Cuadro 2). Las hojas de las variedades TRC y TTCF produjeron más metano (P<0.05) que las hojas de las variedades CSPC y JFM (Cuadro 2). La fermentación de alimentos fibrosos como las pajas de diversos cultivos, favorece la producción de metano ^(44,45,46,47); sin embargo, con excepción de la variedad TRC, la semilla de la jamaica produjo menos metano que la hoja (P<0.05; Cuadro 2), a pesar de que la semilla tuvo más FDN que la hoja (Cuadro 1). Esto puede deberse al contenido de metabolitos secundarios y grasa de la semilla de jamaica ⁽³⁷⁾, los cuales pueden deprimir la metanogénesis ⁽⁴⁸⁾.

Al comparar la producción de metano en tallo y receptáculo entre las variedades se observó que, con excepción de la variedad JFM, el tallo produjo más metano que el receptáculo a pesar de que en ambos componentes botánicos, la cantidad de FDN es similar (P>0.05) y alta (Cuadro 2, Cuadro 1). Tal diferencia en la producción de metano pudo deberse a que el tallo contuvo mayor cantidad de fracciones fermentables (FFR, FFM, FFL) y particularmente de la fracción FFL (Cuadro 2), la cual está asociada a la fermentación de la fibra ⁽²⁴⁾, lo que sugiere que la FDN del tallo es más fermentable que la del receptáculo y por consiguiente puede generar más metano.

Se ha encontrado que el IPCG es útil para estimar el impacto ambiental derivado de la fermentación *in vitro* de alimentos para rumiantes, al utilizar dietas con diferentes niveles de energía y proteína donde el IPCG fue afectado por el nivel de energía ⁽¹⁹⁾. El IPCG muestra el posible impacto que puede causar cada gramo de MS fermentada en el rumen, y en el calentamiento global, ya que para su cálculo se considera el CO₂ eq del metano y bióxido de carbono en conjunto. Por otra parte, el IIA relaciona el CO₂ eq del metano en función de total de gases producidos, asumiendo un valor de CO₂ eq de uno, similar al del

bióxido de carbono, lo que cuantifica cuantas veces más impacta al ambiente la proporción de metano producido. Es por esta razón que el coeficiente de determinación para la relación lineal entre IIA y metano fue alto ($R^2= 0.9948$; $IIA=1.06+[0.2094*CH_4]$), y la relación lineal del IIA y el IPCG tuvo un coeficiente de correlación bajo ($R^2=0.5589$; $IIA=1.97+[0.0025*IPCG]$).

La interacción variedad*componente mostró que la fermentación ruminal de las hojas de jamaica de las variedades JFM y TRC tienen IPCG mayor ($P<0.05$) para causar calentamiento global, en comparación a las hojas de las variedades TTCF y UANG1. Para el tallo, el potencial IPCG es menor ($P<0.05$) en la variedad TRC que en las variedades CSPC, TTCF y UANG1. La semilla de jamaica tiene un potencial similar ($P>0.05$) para todas las variedades estudiadas. Con excepción del tallo de las variedades JFM y TRC, así como de las hojas de la variedad TTCF, la tendencia general entre componentes mostró que la fermentación del tallo y hoja tienen mayor potencial de calentamiento global que la semilla y receptáculo (Cuadro 2). Puesto que el tallo y hoja son los componentes más abundantes en la paja de la jamaica, se asumió que la fermentación ruminal de este esquilmo agrícola tiene un alto potencial de calentamiento global.

Por su parte, la interacción variedad*componente tuvo un efecto determinante en el IIA (Cuadro 2), de tal manera que no es factible distinguir alguna tendencia y su valor dependerá del tipo de componente y variedad correspondiente. Por ejemplo, las hojas de la variedad TRC tuvieron el IIA más alto (4.32) y diferente ($P<0.05$) al de las hojas de las variedades CSPC y UANG1, al de los tallos de las variedades CSPC, JFM, TRC y TTCF, y al receptáculo y semilla de todas las variedades. Por su parte, el IIA de las hojas para la variedad CSPC fue mayor ($P<0.05$) al de las hojas de la variedad UANG1, el tallo de la

variedad TTCF, la semilla de las variedades CSPC, JFM, TTCF, y el receptáculo de todas las variedades. Finalmente, el tallo de la variedad TTCF tuvo IIA superior ($P < 0.05$) al del tallo de la variedad JFM, al del receptáculo de las variedades CSPC, TRC, y a la semilla de la variedad JFM (Cuadro 2). En este sentido el IIA dependerá del componente botánico y la variedad de la paja de la jamaica.

Es conveniente mencionar que no hay referencias publicadas en revistas científicas, respecto a los indicadores de impacto ambiental *in vitro* estimados en esta investigación (IPCG e IIA); sin embargo, es factible estimar esos indicadores a partir de las determinaciones de metano, bióxido de carbono y la producción total de gas *in vitro*, hechas por otros autores. En este sentido, el IIA para rastrojos de maíz varía entre 4.14 y 5.1, para paja de arroz estaría en 4.37, para bagazo de caña de azúcar sería 3.91 y, para la fronda de la palma de aceite estaría en 5.06. Considerando que la hoja y el tallo constituyen la mayor proporción de la paja de la planta de jamaica, esta tendría en promedio un IIA de 3.65, lo que indica que la paja de esta planta tiene menor impacto ambiental o atmosférico que otras pajas ⁽⁴⁹⁾.

Cuadro 2. Gases de fermentación e indicadores de calentamiento global *in vitro* de los componentes botánicos de cinco variedades de la planta de jamaica.

Componente	Variedad	CH ₄	VTGF	IIA	IPCG
		%	mL g ⁻¹ MS	CO ₂ eq	mLCO ₂ eq g ⁻¹ MS
Tallo	CSPC	10.52 ^c	204.15 ^a	3.31 ^{bc}	674.48 ^b
	FM	7.78 ^d	203.91 ^a	2.67 ^d	544.82 ^{bc}
	TRC	11.23 ^{bc}	135.62 ^{bc}	3.31 ^{bc}	448.22 ^c
	TTCF	12.16 ^b	193.70 ^{ab}	3.64 ^{bc}	704.23 ^b
	UANG1	15.59 ^a	158.78 ^b	4.23 ^{ab}	666.26 ^b
Hoja	CSPC	12.67 ^b	218.16 ^a	3.77 ^b	820.58 ^{ab}
	FM	14.81 ^{ab}	213.09 ^a	4.22 ^{ab}	899.32 ^a
	TRC	15.30 ^a	202.81 ^a	4.32 ^a	876.39 ^a
	TTCF	14.54 ^{ab}	145.13 ^{bc}	4.03 ^{ab}	606.78 ^{bc}
	UANG1	9.17 ^{cd}	211.87 ^a	3.01 ^{cd}	637.06 ^b
Receptáculo	CSPC	4.78 ^e	131.85 ^{bc}	2.04 ^e	267.98 ^d
	FM	8.53 ^d	125.99 ^c	2.89 ^{cd}	365.66 ^{cd}
	TRC	4.31 ^e	143.38 ^{bc}	1.98 ^e	281.06 ^{cd}
	TTCF	10.16 ^c	127.73 ^{bc}	3.20 ^c	408.36 ^{cd}
	UANG1	9.02 ^{cd}	131.08 ^{bc}	2.93 ^{cd}	382.40 ^{cd}
Semilla	CSPC	9.62 ^c	115.13 ^{cd}	3.09 ^{cd}	355.59 ^{cd}
	FM	6.42 ^{de}	108.14 ^{cd}	2.37 ^{de}	254.95 ^{de}
	TRC	13.86 ^{ab}	107.72 ^{cd}	3.99 ^{ab}	430.02 ^{cd}
	TTCF	9.93 ^c	111.57 ^{cd}	3.16 ^c	352.12 ^{cd}
	UANG1	11.89 ^{bc}	106.11 ^{cd}	3.57 ^{bc}	378.97 ^{cd}
-----P-----					
Factores					

Variedad		0.0037	0.109	0.0065	0.9954
Componente		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Variedad*Componente		<.0001	0.0191	<.0001	0.024
ErrorE		1.3618	18.9171	0.2863	97.0711

CH₄= Metano ajustado; VTGF=Volumen total de gases de fermentación; IIA=Índice de impacto ambiental; IPCG= Indicador del potencial de calentamiento global. CSPC= Criolla súper precoz Colima, JFM=Jamaica Flor Morada, TRC=Tempranillo Roja Colima, TTCF=Tempranillo Tipo Flor Colima, UANG1=Universidad Autónoma de Nayarit G1. ErrorE=Error Estándar de la Media. Medias con literal diferente en la misma columna son diferentes (P<0.05).

Conclusiones

La calidad nutritiva, fermentativa y digestiva de las hojas y tallos es superior a la de la semilla y receptáculo de la paja de jamaica (*Hibiscus sabbdariffa L.*). Puesto que la hoja y el tallo son los mayores componentes botánicos de la paja de jamaica, su valor como alimento es mejor y que el de otras pajas y rastrojos usados comúnmente en la alimentación de rumiantes; sin embargo, también tienen potencial contaminante a la atmósfera, dependiendo de la variedad de la jamaica. A pesar de esto y de acuerdo con los valores de los índices de impacto ambiental estimados con datos de la literatura científica, la paja de la jamaica es menos contaminante a la atmósfera que otras pajas que se usan comúnmente en alimentación de rumiantes, como rastrojo de maíz y paja de arroz. Por otra parte, destaca la semilla de la jamaica como fuente importante de proteína y aceites que deberán ser investigados.

Literatura citada

1. Ariza FR, Serrano AV, Alejandro CMA, Barrios AA, Otero SMA, Avendaño AC, Noriega CD. Características bioquímicas y calidad nutracéutica de cinco variedades de jamaica cultivadas en México. *Rev Mex Cienc Agric* 2017; 8(2):269-280.
2. Da-Costa-Rocha I, Bonnlaender B, Sievers H, Pischel I, Heinrich M. *Hibiscus sabbdariffa L.* – A phytochemical and pharmacological review. *Food Chemistry* 2014; (165):424-443.
3. FAOSTAT. Organización de las Naciones Unidas Para la Alimentación y la Agricultura. Estadísticas. Hibiscus, post-harvest operations. Italia, 2004.

http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/inpho/docs/Post_Harvest_Compendium_-Hibiscus.pdf. Accessed Dec 02, 2017.

4. Sánchez-Prado JJ, Bugarín-Montoya R, Alejo-Santiago G, Juárez-Rosete CR, Aburto-González CA, Caro-Velarde F. Increased yield and nutrient extraction in roselle through nutrient solutions. *Ecosist Recur Agropec* 2019; 6(16):1-10.
5. Herrera MEE. Evaluación de densidades de siembra para variedades de rosa jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L), en Escuintla [Tesis de licenciatura]. Quetzaltenango, Guatemala: Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas; 2015.
6. González MÁJ, Chamorro ÍMA. Efecto de la densidad poblacional sobre el crecimiento y rendimiento de la flor de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Agron ambiente* 2017; 37(2):131-139.
7. Hidalgo-Villatoro SG, Cifuentes-Reyes WAL, Ruano-Solís HH, Cano-Castillo LE. Caracterización de trece genotipos de rosa de jamaica *Hibiscus sabdariffa* en Guatemala. *Agronom Mesoam* 2009; 20(1):101-109.
8. Bousquet P, Ciais P, Miller JB, Dlugokencky EJ, Hauglustaine DA, Prigent C, *et al.* Contribution of anthropogenic and natural sources to atmospheric methane variability. *Nature* 2006; (443):439-443.
9. Cury RK, Aguas MY, Martínez MA, Olivero VR, Chams ChL. Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. *Rev Col Cienc Anim* 2017; 9(Suppl 1):122-132.
10. Saynes SV, Etchevers BJ, Paz PF, Alvarado CL. Emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas agrícolas de México. *Terra* 2016; (34):83-96.

11. Beshir AA, Babiker SA. The Effect of feeding diet with graded levels of roselle (*Hibiscus Sabdariffa*) seed on carcass characteristics and meat quality of sudan desert lamb. Res J Anim Vet Sci 2009; (4):35-44.
12. Suliman GM, Babiker SA, Eichinger HM. Effect of Hibiscus seed-based diet on chemical composition, carcass characteristics and meat quality traits of cattle. Indian J Anim Res 2017; 51(4):694-699.
13. IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change. Sintesis Report. Fifth report of Intergovernmental panel on climate change. https://archive.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf. Accessed Apr 17, 2019.
14. Johnson KA, Johnson DE. Methane emissions from cattle. J Anim Sci 1995; (73):2483-2492.
15. Ismail A, Khairul IE, Mohd NH. Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) seeds-nutritional composition, protein quality and health benefits. Global Sci Book Food 2008; (2):1-16.
16. Mukhtar AM. The effect of feeding Rosella (*Hibiscus Sabdariffa*) seed on broiler chick's performance. Res J Anim Vet Sci 2007; (2):21-23.
17. Osorio TA, Mendoza MG, Miranda RL, Martínez GD, Hernández GP, Martínez GJ. Effect of calcium propionate and monensin on *in vitro* digestibility and gas production. R. Bras. Zootec 2017; 46(4):348-353.
18. Elmasry AMA, Mendoza GD, Miranda LA, Vázquez G, Salem AZM, Hernández PA. Effects of types and doses of yeast on gas production and *in vitro* digestibility

- of diets containing maize (*Zea mays*) and lucerne (*Medicago sativa*) or oat hay. S. Afr. J. Anim. Sci 2016; (46):392-397.
19. Martínez HBE, Salvador FO, Miranda RLA. Indicador de calentamiento global a partir de la fermentación ruminal de alimentos con diferentes niveles de energía y proteína. Past y Forr 2019; 42(4):285-289.
 20. Arbabi S, Ghoorchi T, and Ramzanpour S. Use of an *in vitro* Rumen Gas Production Technique to Evaluate the Nutritive Value of Five Forage to Concentrate Ratios. Iran J Appl Anim Sci 2017; 7(2):249-257.
 21. García E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarla a las condiciones de la República Mexicana). 5ta ed. Distrito Federal, México: Instituto de Geografía UNAM; 2004.
 22. Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. J Dairy Sci 1991; (74):3583-3597.
 23. AOAC. Oficial Methods of Análisis. 15th. ed. Washington, DC, USA: Association of Official Analytical Chemists. 1990.
 24. Miranda-Romero LA, Tirado-González DN, Tirado-Estrada G, Améndola-Massiotti R, Sandoval-González L, Ramírez-Valverde, *et al.* Quantifying non-fibrous carbohydrates, acid detergent fiber and cellulose of forage through an *in vitro* gas production technique. J Sci Food Agric 2020; 100(7):3099-3110.
 25. Tirado-Estrada G, Ramos-Mijangos LM, Miranda-Romero LA, Tirado-Gonzalez DN, Salem AZM, Mlambo V, *et al.* Potential impacts of dietary *Lemna gibba*

- supplements in a simulated ruminal fermentation system and environmental biogas production. *J Clean Prod* 2018; (181):555-561.
26. Menke KH, Steingass H. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. *Anim Res Develop* 1988; (28):7-55.
 27. Theodorou MK, Williams BA, Dhanoa MS, McAllan AB, France J. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Anim Feed Sci Tech* 1994; (48):185–197.
 28. McArthur JM, Miltimore JE. Rumen gas análisis by gas-solid chromatography. *Can J Anim Sci* 1961; (41):197-196.
 29. SAS. SAS Procedures Guide: Statistical Procedures (version 9.4 2da ed.) Cary NC, USA: SAS Inst Inc. 2013.
 30. López HJ, Chongo BB, La OO, Guerra JE, López H, Maribel L. Bromatological characterization of three agricultural wastes of interest in ruminants feeding, in Sinaloa, Mexico. *Cuban J Agric Sci* 2018; 52(2):215-220.
 31. Castrejón-Pineda FA, Corona-Gochi L. Características nutrimentales de gramíneas, leguminosas y algunas arbóreas forrajeras del trópico mexicano: Fracciones de proteína (A, B1, B2, B3 y C), carbohidratos y digestibilidad *in vitro*. 1ra Ed. Coyoacán, Ciudad de México, México: Universidad Nacional Autónoma de México; 2017.
 32. Bochi-Brum O, Carro MD, Valdés C, González JS, López S. Digestibilidad *in vitro* de forrajes y concentrados: efecto de la ración de los animales donantes de líquido ruminal. *Arch de Zootec* 1999; 48(1):51-61.

33. Prieto-Manrique E, Vargas-Sánchez JE, Angulo-Arizala J, Mahecha-Ledesma L. Ácidos grasos, fermentación ruminal y producción de metano, de forrajes de silvopasturas intensivas con *Leucaena*. *Agron Mesoam* 2016; 27(2):337.
34. Pino F, Karl ML, Mowey JC, Judson HA. Comparison of diet digestibility, rumen fermentation, rumen rate of passage, and feed efficiency in dairy heifers fed *ad-libitum* versus precision diets with low and high quality forages. *J Appl Anim Res* 2018; 46(1):296–1306.
35. Jung HG, Allen MS. Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants. *J Anim Sci* 1995; (73):2774-2790.
36. Attia MFA, Nasser MEA, Zeitoun MM, El-Gendy MN, El-Shazly KA, Sallam SMA. Digestion of tanniniferous plants in ruminants. *in vitro* ruminal and post-ruminal protein digestion of some egyptian tanniniferous plants. *J Food Agric Environm* 2018; 16(2):100-107.
37. Anhwange BA, Ajibola VO, Okibe FG. Nutritive value and anti-nutritional factors in *Hibiscus sabdariffa*. *J Fish Intl* 2006; 1(2-4):73-76.
38. Jenkins TC. Lipid metabolism in the rumen. *J Dairy Sci* 1993; 76(12):3851-3863.
39. Ortiz-Colín P, Albores-Moreno S, Alayon-Gamboa JA, Candelaria-Martínez B, Miranda-Romero LA, Ku-Vera JC, *et al.* Cinética de degradación *in vitro* y digestibilidad de veinte especies arbóreas forrajeras de acahuals de selva baja caducifolia. En: Cetzal-Ix WF, Casanova-Lugo F, Chay-Canul AJ, Martínez-Puc F. *Agroecosistemas tropicales: conservación de recursos naturales y seguridad alimentaria* 1ra Ed. Ciudad de México, México: Tecnológico Nacional de México; 2019:440-446.

40. Albores-Moreno S, Alayón-Gamboa JA, Miranda-Romero LA, Jiménez-Ferrer G, Ku-Vera JC, Vargas- Villamil L. Nutritional composition, *in vitro* degradation and potential fermentation of tree species grazed by ruminants in secondary vegetation (acahual) of deciduous forest. *J. Anim. Plant Sci* 2018; 28(5):1263-1275.
41. Vazquez-Mendoza P, Miranda-Romero LA, Aranda-Osorio G, Burgueño-Ferreira JA, Salem AZM. Evaluation of eleven Mexican cultivars of prickly pear cactus trees for possibly utilization as animal feed: *in vitro* gas production. *Agroforest Syst* 2017; (91):749–756.
42. Sasongko WT, Dyah LTR, Mulyana N, Wahyono T. *In Vitro* gas and methane production from fermented rice straw using *Trichoderma viride* and *Phanerochaete chrysosporium* inoculant. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng* 2019; (546):022023.
43. Tuyen DV, Phuong HN, Cone JW, Baars JJP, Sonnenberg ASM, Hendriks WH. Effect of fungal treatments of fibrous agricultural by-products on chemical composition and *in vitro* rumen fermentation and methane production. *Bioresour Technol* 2013; (129):256–263.
44. Ramírez JF, Posada OS, Noguera R. Ruminant methanogenesis and mitigation strategies. *Ces Med Vet* 2014; 9(2):307-323.
45. Knapp JR, Laur GL, Vadas PA, Weiss WP, Tricarico JM. Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: Quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *J Dairy Sci* 2014; 97(6):3231-3261.
46. Bonilla CJ, Lemus FC. Emisión de metano entérico por rumiantes y su contribución al calentamiento global y al cambio climático: Revisión. *Rev Mex Cienc Pecu* 2012; (3):215-246.

47. Bonilla CJ, Lemus FC, Montaña GM, González VV, Ly-Carmenatti J. Fermentación ruminal, digestibilidad y producción de metano en ovinos alimentados con cuatro niveles de rastrojo de maíz. *Trop Subtrop Agroecosyt* 2012; 15(3):499-509.
48. Ortiz DM, Posada SL, Noguera RR. Efecto de metabolitos secundarios de las plantas sobre la emisión entérica de metano en rumiantes. *Livest Res Rural Dev* 2014; 26(11):1-12.
49. Li Y, Hou Z, Shi Q, Cheng Y, Zhu W. Methane Production From Different Parts of Corn Stover via a Simple Co-culture of an Anaerobic Fungus and Methanogen. *Front Bioeng Biotechnol* 2020; 30(8):314.

CAPÍTULO 4. EFECTO DEL NIVEL DE GRANO DE JAMAICA SOBRE LA FERMENTACIÓN RUMINAL Y GASES DE EFECTO INVERNADERO *IN VITRO*¹

Resumen

Los esquilmos de cultivos agrícolas, incluidas los granos de diversas plantas pueden ser utilizados para la alimentación animal por su alto contenido de nutrientes. El objetivo del presente estudio fue evaluar cinco niveles de grano de la planta de jamaica (GJ) en dietas para ovinos (0, 5, 10, 15, 20 y 25 %) iso-energética e iso-proteicas, mediante la técnica de producción de gas *in vitro*, sobre la producción y cinética de gas (FFR = Fracción de Fermentación Rápida, FFM = Fracción de Fermentación Media, FFL= Fracción de Fermentación Lenta, Vm = Volumen Máximo de gas, L = Fase *Lag*, S = Tasa de crecimiento), la Digestibilidad *in vitro* de la Materia Seca (DIVMS) y de la Materia Orgánica (DIVMO) a las 24 y 72 h de incubación, así como la producción de gases de efecto invernadero: Metano (CH₄), Volumen total de gas (Vt), Índice Potencial de Calentamiento Global (IPCG), Índice de Impacto Ambiental (IIA). El IPCG se calculó con la fórmula $IPCG (mL CO_2 eq g^{-1} MS) = (mL CO_2 g^{-1} MS) + [(mL CH_4 g^{-1} MS) * 23]$ y el IIA = IPCG / Vt. Mediante un Diseño Completamente al Azar con tres repeticiones por dieta y en bloques generalizados con dos repeticiones en el tiempo. La DIVMS y DIVMO disminuyeron a medida que se incluyó mayor proporción de GJ. La fermentación potencial de gas o Vm, fue mayor cuando se adicionó 5 % de GJ en comparación al testigo (0 %), pero disminuyó después de 15 %. La fase *Lag* disminuyó con la inclusión creciente de GJ y S no se vio afectada. Las fracciones de gas mostraron tendencia a disminuir conforme se incrementó la cantidad de GJ en la dieta. Las variables de impacto atmosférico (CH₄, IPCG e IIA) no fueron afectadas por la inclusión de GJ a la dieta. En conclusión, el GJ puede sustituir una parte de los ingredientes convencionales en dietas para ovinos, sin embargo, la DIVMS puede disminuir conforme aumenta el nivel de GJ en la dieta, sin aumentar el impacto ambiental.

Palabras clave: Fermentación ruminal, esquilmos, metano, impacto ambiental.

¹Tesis de Doctorado en Ciencias en Innovación Ganadera, Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo
Autor: Rosalba Lazalde Cruz
Director: Luis Alberto Miranda Romero

CHAPTER 4. EFFECT OF JAMAICA GRAIN LEVEL ON RUMINAL FERMENTATION AND *IN VITRO* GREENHOUSE GASES²

Abstract

The wastes of agricultural crops, including the grains of various plants, can be used for animal feed due to their high content of nutrients. The objective of this study was to evaluate five levels of grain from the grain hibiscus plant (GJ) in sheep diets (0, 5, 10, 15, 20 and 25 %) iso-energetic and iso-protein, by means of the production technique of gas *in vitro*, on gas production and kinetics (FFF = Fast Fermentation Fraction, MFF = Medium Fermentation Fraction, SFF = Slow Fermentation Fraction, V_m = Maximum Gas Volume, L = Lag phase, S = Rate of growth), the *in vitro* Digestibility of Dry Matter (IVDDM) and Organic Matter (IVDOM) at 24 and 72 h of incubation, as well as the production of greenhouse gases: Methane (CH₄), Total volume of gas (V_t), Potential Global Warming Index (IPCG), Environmental Impact Index (IIA). The IPCG was calculated with the formula $IPCG \text{ (mL CO}_2 \text{ eq g}^{-1} \text{ MS)} = \text{(mL CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ MS)} + [(\text{mL CH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ MS)} * 23]$ and the IIA = IPCG / V_t. Through a completely randomized design with three repetitions per diet and in generalized blocks with two repetitions intime. The DIVMS and DIVMO decreased as a higher proportion of GJ was included. The potential fermentation of gas or V_m, was higher when 5 % of GJ was added compared to the control (0 %), but it decreased after 15 %. The Lag phase decreased with increasing inclusion of GJ and S was not affected. The gas fractions showed a tendency to decrease as the amount of GJ in the diet increased. The atmospheric impact variables (CH₄, IPCG and IIA) were not affected by the inclusion of GJ in the diet. In conclusion, GJ can replace a part of the conventional ingredients in sheep diets, however, DIVMS can decrease as the level of GJ in the diet increases, without increasing the environmental impact.

Keywords: Ruminal fermentation, crop wastes, methane, environmental impact.

²Doctoral Thesis in Livestock Innovation, Graduate Program in Animal Production, Universidad Autónoma Chapingo

Author: Rosalba Lazalde Cruz

Advisor: Luis Alberto Miranda Romero

4.1. Introducción

Los sistemas de producción de rumiantes requieren del uso de ingredientes alimenticios que aporten buena cantidad y calidad de nutrientes, y de ser posible contribuyan a la mitigar los gases de efecto invernadero (Ugbogu et al., 2019; Wanapat, Cherdthong, Phesatcha & Kang 2015). A excepción de los forrajes o granos de leguminosas, la principal limitante nutrimental para la productividad de rumiantes, son el contenido alto de carbohidratos estructurales y la baja proporción de proteína, cuyo desbalance induce a mayor producción de metano (Lara, Canché, Magaña, Aguilar, & Sanginés, 2009; Ugbogu et al., 2019). En estas circunstancias, es deseable la inclusión en la dieta, de ingredientes alimenticios digestibles concentrados en energía y proteína (Fruet et al., 2016; Rodríguez, Sosa & Rodríguez, 2007), para promover el crecimiento y la actividad microbiana del rumen (Bach, Calsamiglia & Stern, 2005).

Ante la escasa diversidad de este tipo de ingredientes alimenticios, se hace uso de subproductos agrícolas o esquilmos, en los que se pueda aprovechar el follaje, frutos, semillas o cáscaras, cuya composición nutrimental y disponibilidad en regiones agropecuarias es conocida, para sustituir parcial o totalmente los granos de cereales y leguminosas en el alimento para el ganado (Borja, Muro, Espinosa & Vélez 2016; Núñez y Rodríguez, 2019; Osman et al., 2018). La presencia de metabolitos secundarios en estos esquilmos agrícolas puede ayudar a modular la fermentación ruminal para mejorar la degradación de la dieta y mitigación de la emisión de gases de efecto invernadero (Calsamiglia, Busquet, Cardozo, Castillejos, & Ferret, 2007; Klevenhusen et al., 2014). En particular, el efecto de la inclusión de granos en dietas para rumiantes ha sido ampliamente investigado. Los granos de las bayas de grosella negra mejoran la proporción de AGV en el rumen, debido a la alta concentración de ácidos grasos polinsaturados, ácido linoleico conjugado, araquidónico y docosahexaenoico, e incrementan los ácidos omegas 6 y 3 en la leche de vacas Holstein-Friesian (Bryszak et al., 2019).

La inclusión de 0, 3.3, 5, 6.7, 8.3, 10, 11.7, 13.3, 15 y 6.7 mg de grano de *Delonix regia*, como fuente de proteína, en una dieta con relación 70:30 de concentrado: forraje, causó un efecto cuadrático de en la DIVMS, con un máximo cuando se incluyó 11.7 mg MS del grano en la dieta, y redujo linealmente la producción de CH₄, *in vitro* (Supamong et al., (2017). Lo anterior ha sido atribuido a compuestos secundarios en los granos, producidos como defensa contra microorganismos, insectos y a condiciones adversas del ambiente (Akula y Ravishankar, 2011). Los granos con alto contenido de estos compuestos secundarios pueden ser útiles para modular la fermentación microbiana ruminal, sin afectar el desempeño productivo del rumiante (Vélez, Campos, & Sánchez, 2014). Los taninos pueden deprimir la producción de metano (CH₄) directamente, mediante la disminución de la población de arqueas y el uso eficiente de H₂ para la producción de propionato (Ramírez-Bibriesca, 2018).

El grano de jamaica, además de compuestos secundarios (Anhwange, Ajibola, & Okibe, 2006) es una buena fuente de proteína (22.1 a 31.51 %) y grasa (22.09 a 23.7 %) (Maffo, Agbor, Mekoudjou, Kengne, & Gouado, 2014; Shaheen, El-Nakhlawy & Al-Shareef, 2012;) que puede ser usada en dietas para rumiantes como lo reportan Beshir y Babiker (2009); Elamin, Hassan, Abdalla, Arabi, & Tameem Eld, (2012); Sulliman, Babiker, & Eichinger (2017). Estos autores establecen que es posible incluir el GJ en las dietas para rumiantes desde 10 hasta 25 %, sin embargo, más allá de estas investigaciones, no se han reportado resultados de trabajos *in vitro* realizados con diferentes niveles de inclusión de grano de jamaica en dietas, y cómo afecta la fermentación ruminal y la emisión de gases de efecto invernadero. Debido a esta problemática, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la inclusión de grano de jamaica en dietas para ovinos y determinar la producción de gas, digestibilidad *in vitro* y emisión de GEI.

4.2. Materiales y métodos

4.2.1. Material vegetal y dietas

Se recolectó grano del esquilmo del cultivo de jamaica (GJ) de la variedad criolla mexicana, de varios productores en Tecoaapa, Guerrero, México, cultivada a 950 msnm, con temperatura entre los 17 ° y 32 °C y precipitación media anual de 1600 mm (García, 1988). El grano fue secado en una estufa de aire forzado a 65 °C por 48 h, fue molido (<2 m) e incluido al 0, 5, 10, 15, 20 y 25 % en base seca, en la formulación de dietas para ovinos (Cuadro 1). Se hicieron tres corridas de laboratorio (repeticiones) por cada una de las dietas.

4.2.2. Análisis químico

A las dietas se les determinó el contenido de materia seca (MS), proteína cruda (PC), ceniza (CEN), extracto etéreo (EE) (AOAC, 2000) y, fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) (Van Soest, Robertson, & Lewis, 1991).

4.2.3. Medición de la fermentación y digestibilidad *in vitro*

Las dietas se sometieron a la fermentación por consorcios microbianos del rumen, de acuerdo con el fundamento de la técnica de producción de gas *in vitro* (Menke y Steingass, 1988; Theodorou, Williams, Dhanoa, McAllan, & France, 1994), para lo cual se siguió el procedimiento descrito por Tirado-Estrada et al. (2018). El donador del inóculo ruminal fue un torete con cánula ruminal alimentado con ensilado de maíz y heno de alfalfa (proporción 70:30). La extracción del inóculo se hizo a las 08 am y a 16 h en el torete en ayuno; posteriormente, se usó para inocular muestras de cada una de las dietas en frascos que fueron tapados herméticamente con un tapón de goma y aro metálico, y se incubaron a 39 °C.

La presión de gas se midió con manómetro (0 - 1 kg cm²; METRON® 51100, Texcoco, México) a intervalos de tiempo de 24, 48 y 72 h, el cual se transformó

a volumen de gas (V) con el modelo de regresión lineal: $V \text{ (mL)} = [P \text{ (kg cm}^2) + 0.0495] / 0.0185$ ($R^2 = 0.98$) y se reportó como mL gas g^{-1} MS.

Cuadro 1. Composición (%) de dietas para ovinos formuladas con grano de jamaica.

Ingredientes	Dieta (%)					
	0	5	10	15	20	25
Maíz amarillo	50.3	48.5	46.7	44.8	43.0	38.9
Grano de jamaica	0.0	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0
Pasta de soya	13.6	10.7	7.8	4.9	2.0	0.0
Salvado de trigo	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
Rastrojo maíz	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Aceite de soya	1.5	1.2	0.9	0.6	0.3	0.1
Melaza	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
Carbonato de Ca	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.2
Urea	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Minerales	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Sal común	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Total	100	100	100	100	100	100

Composición química determinada (%)

PC	14.9	14.0	13.6	13.3	13.2	13.2
EE	4.5	4.4	4.9	5.2	5.7	7.9
CEN	10.7	10.4	12.4	10.3	11.0	11.4
FDN	35.8	37.1	40.3	41.7	43.4	41.5
FDA	13.1	14.3	13.4	15.4	16.4	20.2
ELN	63.9	63.6	62.6	62.0	61.2	57.6
Ca	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
P	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3
EM, Mcal $kg \text{ MS}^{-1}$	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8

Niveles crecientes de inclusión de GJ = 0, 5, 10, 15 y 20%. PC = Proteína cruda, EE = Extracto etéreo, CEN = Cenizas, FDN = Fibra detergente neutro, FDA = Fibra detergente ácido, ELN = Extracto libre de nitrógeno, Ca = Calcio, P = Fósforo. EM= Energía metabolizable calculada, (Mcal $/kg^{-1}$).

Los valores de volumen (mL g^{-1} MS de sustrato) se usaron para obtener el volumen fraccional de gas para los intervalos de 0 a 8 (V_{f0-8}), 8 a 24 (V_{f8-24}) y 24 a 72 h (V_{f24-72}) de incubación, los cuales se transformaron a fracciones ($g \text{ kg}^{-1}$) de fermentación rápida (FFR), media (FFM) y lenta fermentación (FFL) según los

modelos: $FFR = V_{f0-8} / 0.4266$; $FFM = V_{f8-24} / 0.6152$, y $FFL = V_{f24-72} / 0.3453$. La suma de estas fracciones correspondió a la fracción total fermentable (FFT) (Miranda-Romero et al., 2020).

4.2.4. Indicadores de impacto ambiental

Las dietas fueron fermentadas *in vitro* (Menke y Steingass, 1988; Theodorou et al., 1994), con la diferencia de que la incubación a 39 °C por 24 h, y el volumen de gas producido se midió con jeringa (BD Yale, Juiz de Fora, Brasil) cada 6 h de incubación. En cada medición, el gas atrapado en la jeringa se transfirió a una solución de hidróxido de potasio (1 N) para fijar el dióxido de carbono. El gas residual correspondió al volumen de metano más gases menores (CH_{4+GM}). La diferencia del volumen (mL g⁻¹MS) total de gas de fermentación (V_t) y de CH_4 , correspondió al volumen de bióxido de carbono (V_{CO_2}), de acuerdo con el procedimiento descrito por Martínez Salvador & Miranda (2019). El CH_{4+GM} se ajustó a metano teórico (CH_4) con el factor 0.77 (McArthur & Miltimore, 1961). Estos valores se usaron para calcular el Indicador del Potencial de Calentamiento Global (IPCG; mL CO₂ eq g⁻¹MS) y el Índice de Impacto Ambiental (IIA; CO₂ eq g⁻¹ MS) de las dietas, de acuerdo con las ecuaciones siguientes (Martínez et al., 2019):

$$IPCG \text{ (mL CO}_2 \text{ eq g}^{-1} \text{ MS)} = \text{(mL CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ MS)} + [(\text{mL CH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ MS)} * 23]$$

$$IIA \text{ (CO}_2 \text{ eq)} = IPCG / V_t$$

Donde el volumen de CH_4 se multiplicó por el factor equivalente de 23.

4.2.5. Digestibilidad *in vitro* de la materia seca y de la materia orgánica

Al término de cada tipo de incubación (24 y 72 h), el contenido de los frascos se filtró en papel Whatman (No. 541; poro 10 µm), se secó a 60 °C por 48 h en una estufa de convección, y se pesaron para calcular la digestibilidad *in vitro* de la materia seca ($DIVMS_{24h}$ y $DIVMS_{72h}$), en función de la materia seca inicial.

Posteriormente, los papeles filtro conteniendo el residuo de la MS inicial fueron calcinados en una mufla a 550 °C por 5 horas y se calculó la materia orgánica para determinar la digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO_{24h} y DIVMO_{72h}) como porcentaje de la materia seca inicial.

4.2.6. Diseño experimental y análisis estadístico

Se usó un diseño experimental completamente al azar (DCA) con tres repeticiones (lotes) por dieta, considerando el efecto fijo de la dieta y los efectos aleatorios de la repetición del experimento en dos tiempos (Rep(tiempo)) de acuerdo con el Modelo: $Y = \mu + \text{Rep}(\text{Tiempo})_{ij} + \text{Dieta}_k + \varepsilon_{ijk}$. Dónde: Y= Vm, S, L, DIVMS, DIVMO, FFR, FFM, FFL VTGF, CH₄, IPCG, IIA; Rep (Tiempo)_{ij}, es el efecto de la *i*-ésima repetición anidada en el *j*-ésimo tiempo de ejecución de los experimentos; Dieta_k, efecto de la *k*-ésima dieta; ε_{ijk} , error aleatorio. El análisis de varianza (ANOVA) se analizó utilizando un procedimiento GLM (Proc GLM) y las probabilidades de los efectos aleatorios fueron obtenidas a partir del mismo modelo utilizando procedimiento mixto (Proc Mixed). Se realizó prueba de Tukey para la comparación de medias (SAS, V.9.4, 2013).

4.3. Resultados

Aunque la formulación de las dietas se realizó iso-proteícamente e iso-energéticamente, hubo variación en la composición química de los ingredientes. La pasta de soya disminuyó a medida que el GJ aumentaba, para compensar el % PC y cubrir los requerimientos, sin embargo, al parecer el GJ resultó con menos PC de lo esperado y esto modificó la PC en las dietas, lo cual se explica con $R^2=0.80$. En cuanto al EE que debió provenir originalmente del GJ y del aceite de soya, se encontró una relación baja en el contenido de estos dos ingredientes ($R^2=0.76$) (Figura 1).

Respecto a la degradabilidad de la materia seca (DIVMS_{72h}) y de la materia orgánica (DIVMO_{72h}), ambas disminuyeron a medida que se incluyó mayor proporción de grano de jamaica (Cuadro 2) a una tasa de -0.4042 y -0.5038 %

por unidad porcentual de grano GJ incluido ($R^2 = 0.984$ y 0.946 , respectivamente). La depresión de $DIVMO_{72h}$ no fue diferente ($P > 0.05$) cuando se incluyó 5 o 10 % de GJ con respecto a la dieta testigo, sin embargo, a partir de 15 % de GJ la disminución de la $DIVMO_{72h}$ sí fue significativa. La fermentación potencial representada por el Vm de gas fue mayor ($P < 0.05$) cuando se adicionó 5 % de GJ en comparación a la dieta testigo, pero disminuyó ($P < 0.05$) con la inclusión de 15 % o más de GJ (Cuadro 3). La tasa de producción de gas no fue afectada por la inclusión del GJ respecto a la dieta testigo (Cuadro 3); sin embargo, la fase *Lag* (*L*) disminuyó ($P < 0.05$) con la inclusión del GJ con una tendencia polinómica ($R^2 = 0.9604$).

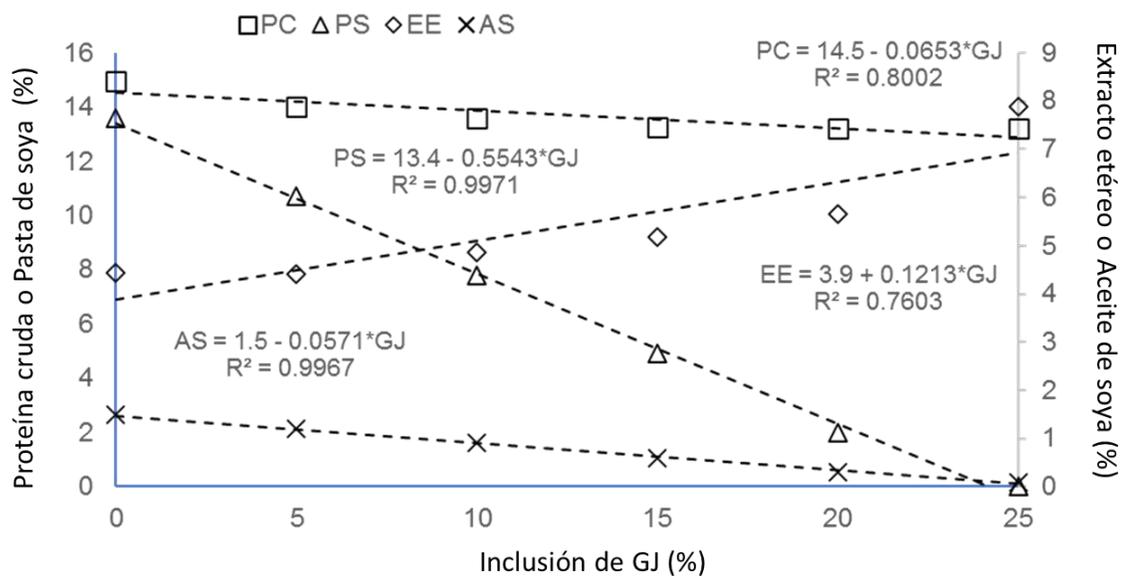


Figura 1. Cambios en los nutrientes en función del nivel de inclusión de grano de jamaica en dietas para ovinos. PC = Proteína cruda, PS = Pasta de soja, EE = Extracto etéreo, AS = Aceite de soja.

La $DIVMS_{24h}$ y $DIVMO_{24h}$ (Cuadro 3) mostraron tendencias similares a la mostrada en la $DIVMS_{72h}$ y $DIVMO_{72h}$ (Cuadro 2), donde el nivel de GJ causó disminución ($P < 0.05$) de las degradaciones *in vitro*, de forma lineal en función del porcentaje de inclusión de GJ en las dietas. En cuanto a las variables de impacto

atmosférico (CH₄, IPCG e IIA), éstas no fueron afectadas por la inclusión de GJ a la dieta ($p>0.05$; Cuadro 3), pero en la DIVMS y DIVMO tuvo un marcado efecto depresivo ($p<0.05$) a partir de 20 y 25 % de inclusión de GJ en las dietas, respectivamente, en comparación con la dieta testigo (Cuadro 3). El porcentaje de metano, IPCG e IIA variaron de 14.69 a 15.84 %; 773.7 a 841.8 mL CO₂ eq g⁻¹ MS, y de 4.21 a 4.5 CO₂ eq, respectivamente.

4.4. Discusión

Las dietas formuladas fueron iso-energéticas e iso-proteicas por lo que, debido a las características nutrimentales del GJ, el maíz, pasta de soya y aceite de soya fueron sustituidas por ese ingrediente; sin embargo, la concentración de PC y EE también varió en las dietas experimentales (Cuadro 1).

Cuadro 2. Cinética de producción de gas y digestibilidad *in vitro* de dietas para ovinos con niveles crecientes de grano de jamaica (*Hibiscus sandariffa* L.)

% Grano	Parámetros de la cinética			Digestibilidad	
	Vm (ml g ⁻¹)	S (h ⁻¹)	L (h)	DIVMS ₇₂ (%)	DIVMO ₇₂ (%)
0	428.58 ^b	0.0365 ^{ab}	4.91 ^a	74.73 ^a	89.89 ^a
5	465.40 ^a	0.0367 ^{ab}	4.02 ^b	72.09 ^{ab}	89.39 ^{ab}
10	405.50 ^{bc}	0.0359 ^{ab}	3.71 ^b	70.21 ^b	86.28 ^{ab}
15	387.30 ^{cd}	0.0346 ^b	3.51 ^b	69.29 ^{bc}	85.28 ^b
20	401.03 ^{bc}	0.0368 ^{ab}	3.66 ^b	66.65 ^{cd}	80.07 ^c
25	373.23 ^d	0.0374 ^a	3.68 ^b	64.03 ^d	78.05 ^c
<i>P</i>	<.0001	0.0227	<.0001	<.0001	<.0001

Vm = Volumen máximo, S = tasa y L = fase Lag de la producción de gas. DIVMS = Digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y materia orgánica (DIVMO) a las 72 h. ^{a,b,c,d}Medias con literales distintas en la misma columna son diferentes ($p<0.05$).

El maíz se redujo hasta en 22 %, la PS hasta el 100 % y el aceite de soya hasta el 93 %, respecto a la dieta testigo. Esto permitió disminuir el costo de las dietas a pesar de que el valor económico del GJ es mayor (7.00 \$MX kg⁻¹), debido a que el GJ no es un producto comercializado industrialmente que permita reducir

costos por mano de obra y otros factores. Por otro lado, debido a que la cosecha de la flor de jamaica es aún a escala del pequeño productor con baja tecnología, la cosecha de GJ se realiza con mano de obra familiar y se asume de bajo costo. Así, la inclusión del GJ disminuyó el costo de las dietas. Por otro lado, los cambios en los ingredientes de la dieta disminuyeron el contenido de PC, ELN y EM hasta en 11.65, 9.9 y 5.11 %, para estos nutrimentos, respectivamente; mientras que los contenidos de EE, cenizas, FDN y FDA, se incrementaron hasta en 77.30, 6.73, 15.65 y 54.40 %, respectivamente.

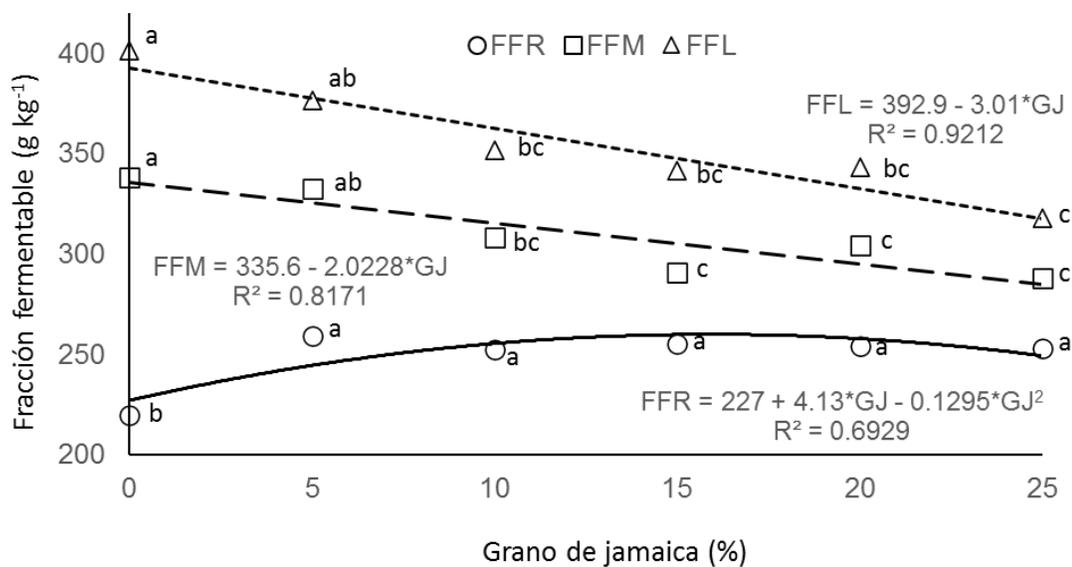


Figura 2. Cambio en las fracciones de fermentación rápida (FFR), media (FFM), y lenta (FFL) en una dieta para ovinos por efecto de la inclusión de grano de jamaica. Puntos con literales distintas en la misma línea son diferentes ($p < 0.05$).

La fermentación potencial, evaluada como Vm para las dietas con inclusión de GJ, varió de 373 a 465 mL g⁻¹ MS, similar al Vm obtenido en dietas altas en concentrado (Elmasry et al., 2016). El Vm y la digestibilidad potencial estimada como DIVMS_{72h} y DIVMO_{72h}, tuvieron un comportamiento lineal (R²=0.5623 y 0.6125), aunque con parámetros estadísticos menores a los reportados por Albores-Moreno et al. (2018); Ortiz-Colin et al. (2019) y Vazquez, Miranda, Aranda, Burgueño, & Salem, (2017). Lo anterior explica la misma tendencia de Vm para DIVMS_{72h} y DIVMO_{72h}, conforme se incrementó la proporción de GJ en

la dieta de los ovinos (Cuadro 2). Por otro lado, la adición de ingredientes energéticos como el maíz incrementa la producción de gas (fermentación) y mejora la digestibilidad de los forrajes (Arbabi, Ghoorchi, & Ramzanpour, 2017; Huhtanen, Seppälä, Ahvenjärvi, & Rinne, 2008; Lara et al., 2009).

Cuadro 3. Efecto del nivel de grano de jamaica en la producción de gas, digestibilidad y las variables de impacto atmosférico *in vitro*.

% Grano	CH ₄	Vt	IPCG	IIA	DIVMS _{24h}	DIVMO _{24h}
	%	mL g ⁻¹ MS	mLCO ₂ eq g ⁻¹ MS	CO ₂ eq	%	%
0	14.69	192.88	813.88	4.21	69.30 ^{ab}	82.43 ^{ab}
5	15.84	189.14	841.81	4.46	71.82 ^a	85.87 ^a
10	15.82	186.92	829.74	4.45	69.67 ^{ab}	85.32 ^a
15	16.04	189.68	851.33	4.50	66.75 ^{bc}	78.89 ^{abc}
20	15.02	186.75	794.89	4.28	65.49 ^c	77.62 ^{bc}
25	14.72	175.66	733.70	4.21	60.83 ^d	72.13 ^c
R ²	0.27	0.81	0.38	0.24	0.86	0.84
P	0.8322	0.1921	0.4894	0.8325	<0.0001	0.0002

CH₄ = ajustado (CH_{4+GM} *0.77); Vt = Volumen total de gases de fermentación; IPCG = Indicador del potencial de calentamiento global, IIA = Índice de impacto ambiental, DIVMS = Digestibilidad *in vitro* de la materia seca a las 24 h de incubación. DIVMO = Digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica a las 24 h. ^{a,b,c,d} Medias con literales distintas en la misma columna son diferentes (P<0.05).

En la presente investigación, la proporción de FDN y FDA se incrementaron en función del aumento de la proporción de GJ en la dieta, lo cual causó reducción de DIVMS_{72h}, DIVMO_{72h} y Vm (Cuadro 2). El incremento de la fibra en la dieta también disminuyó FFL, que está asociada con carbohidratos estructurales e indica la cantidad neta de fibra en el alimento, puesto que ésta puede ser alta pero poco fermentable (Miranda-Romero et al., 2020). Como se indicó anteriormente, el contenido de FDN se incrementó ($p<0.05$) conforme aumentó la proporción de GJ en la dieta (Cuadro 2), pero esta fibra fue menos fermentable con una tasa de 3.01g kg⁻¹ por unidad porcentual de GJ (Figura 1). Esta disminución fue atribuida al incremento de la FDA hasta en 54% respecto a la dieta testigo, ya que la proporción de rastrojo de maíz, fuente principal de fibra

en la dieta testigo, se mantuvo constante en las demás dietas (Cuadro 1). Try Hesty, Alimon, Iman Rahayu, & Hasanah (1998), encontraron que la degradabilidad de la MO y MS *in vitro* del GJ se incrementa después de las 12 h de incubación, y fue atribuido a un posible mayor contenido de lignina. Por esta razón, Hainida, Amin, Normah, & Mohd-Esa (2008) mencionan que la digestibilidad del GJ mejora cuando se somete el grano a un tratamiento químico o físico previo.

La disminución de la digestibilidad y la fermentación de las dietas con GJ pudo estar potencializado por el alto contenido de grasa. Se considera que cuando el contenido de grasa en la dieta varía entre 6 y 10 %, la digestibilidad de la fibra disminuye (Jenkins & Palmquist, 1984). La inclusión de GJ incrementó el contenido de EE en la dieta y, especialmente, en la dieta con 25 % de GJ el EE fue lo suficientemente alto como para afectar el potencial digestivo y fermentativo de la dieta (DIVMS_{72h}, Vm; Cuadros 1 y 2). Otro factor asociado a la disminución de la DIVMO_{72h} y fermentación (Vm) de las dietas, se atribuyó a la reducción del maíz en las dietas con GJ (Cuadro 2) como fuente principal de almidón (Ranathunga, Kalscheur, Hippen, & Schingoethe, 2010), ya que FFM se asocia con carbohidratos de reserva como el almidón (Miranda et al., 2015; Miranda et al., 2020), aunque FFM también disminuyó cuando se incrementó GJ en la dieta (Figura 2).

Por otro lado, la inclusión de GJ redujo FFR (Figura 2) respecto a la dieta testigo, pero no varió significativamente con el incremento del GJ en las dietas (Figura 2). Este incremento de la FFR no fue suficiente como para compensar la depresión de la DIVMO_{72h} y Vm. Tampoco se vio reflejado en la tasa de producción de gas (S), pero sí en la reducción de la fase *Lag* (L) de 4.9 a 3.5 h (Cuadro 2).

A las 24 h de incubación, el gas producido representó entre 65 y 69 % respecto al total de gas producido en 72 h (428.58 mL) de incubación. Estos valores de producción de gas son menores a los reportados normalmente en la producción

de gas de sustratos comunes, como maíz molido y hojas de morera (72 y 70 % respectivamente), pero mayores o similares a sustratos más fibrosos como la planta completa y tallos de morera (69 y 51 %, respectivamente) (Lara et al., 2009), y extracto de malva + heno de avena (65 %; Khamoshi, Kafilzadeh, Jahani-Azizabadi, & Naseri, 2017), indicando que los componentes fibrosos de la dieta fermentan en las últimas horas de la incubación.

Comparando la proporción de metano emitido por las dietas con GJ, Herrera et al., (2018) realizaron cuatro dietas balanceadas con distintos niveles de semilla de girasol (0, 6, 12 y 18 %), y no encontraron diferencias en la cantidad de CH₄ emitido por efecto del nivel de semilla en la dieta, sin embargo, con 18 % se obtuvo la menor producción de este gas, comparado con la dieta testigo [15.68 vs 18.37 % (valores estimados ya que los autores no reportan estos datos)]. Estos mismos autores midieron la producción de CH₄ a las 72 h de incubación, asumiendo que una vez consumida la semilla aumentaría rápidamente la producción de CH₄, para disminuir lentamente hasta el siguiente consumo (Mao, Wang, Zhou, & Liu, 2010). En este estudio, cuando se ofreció el alimento con 15 % de GJ, el CH₄ alcanzó su máximo nivel de 16.04 %. Otras fuentes energéticas fueron evaluadas por Jiménez et al. (2019): melaza, maíz y plátano con una base de forrajes en dietas balanceadas, y determinaron la producción de CH₄ y la fermentación ruminal en ovinos en confinamiento; los ingredientes se evaluaron por sí solos y en combinaciones, resultando que el maíz produjo menor proporción de CH₄ con solo 16.4 %. En general, todas las combinaciones realizadas por Jiménez et al. (2019) produjeron más CH₄ que las obtenidas en el presente estudio, entre 21.9 y 31.9 %. Ellos reportaron que la dieta con 7 % de maíz y 15 % de plátano, produjo menor proporción de CH₄ (21.9 %), 26.8 % más que las dietas con GJ.

No existen resultados de investigaciones del efecto de GJ en la fermentación ruminal con que comparar los resultados de esta investigación. No obstante, de la misma familia de las Malváceas, Khamoshi et al. (2017) estudiaron los

parámetros de fermentación y la producción de CH₄ de las hojas de la planta *Malva sylvestris*, considerada ésta como una maleza con potencial forrajero. Del extracto de hojas, estos investigadores probaron diferentes volúmenes de inclusión y, reportaron que con 50 µl incubado a 24 h, el CH₄ se redujo 12.29 % la fermentación ruminal respecto a la dieta testigo, debido a la presencia de componentes secundarios de la planta. Por otro lado, Bryszak et al. (2019) encontraron que la semilla de grosella negra no modificó la concentración de AGV's, CH₄ y pH, a las 24 y 48 h de incubación *in vitro*. Asimismo, Klevenhusen et al. (2014) evaluaron la respuesta fermentativa *in vitro* del aceite de la semilla de *Nigella sativa* y tampoco encontraron cambios en la concentración de AGV's, ni en la población de protozoarios, pero contrario a lo hallado en la presente investigación, la degradación *in vitro* de la MS y MO, así como la producción de CH₄, se incrementaron con 50 y 500 mg L⁻¹ de semilla negra, respectivamente.

Maleki et al. (2016) usaron el aceite de la semilla de granada (*Punica granatum* L.) sobre la reducción de gas metano y fermentación ruminal *in vitro* a las 24 h de incubación, y observaron que a medida que aumentó el nivel de aceite de granada aumentó lineal y cuadráticamente la producción de gas, mientras que con 10 mg de aceite disminuyeron la producción de CH₄ en 21 % comparado con el testigo; la metanogénesis también disminuyó después de 24 h de incubación, atribuyéndolo al contenido de ácidos grasos insaturados que compiten por iones H₂ durante la biohidrogenación con las arqueas metanogénicas y, a que los aceites causan un deterioro general de la fermentación (Beauchemin, McGinn, Benchaar, & Holtshausen, 2009). Esta reducción de CH₄ cuando se adicionan lípidos a la dieta puede estar dada por reducción de la digestibilidad de la fibra, reducción del consumo de MS, inhibición de protozoarios y de arqueas y por la biohidrogenación de los ácidos grasos y por la reducción del H₂ (Maleki et al. 2016). La inclusión de GJ a la dieta no incrementa las emisiones de metano lo cual puede disminuir el impacto ambiental, pero como encontraron Bryszak et al. (2019), se pueden esperar cambios benéficos en la producción de rumiantes,

particularmente en la composición de la leche, con dietas conteniendo grano de grosella.

Es posible comparar el IIA de otros sustratos a partir de las determinaciones de volumen total de gas y metano. Una dieta a base de aceite de semilla de girasol tiene un IIA de 1.75, con extracto de plantas medicinales 1.64 y la dieta testigo tuvo un potencial de impacto atmosférico de 1.89 (Wencelová et al., 2015). Por su parte, en dietas a base de forraje y sustratos energéticos, IIA osciló entre 0.93 y 1.18 (Jiménez et al., 2019) y conforme el nivel de semilla de granada aumentó en dietas, el IIA fue disminuyendo de 3.22, 3.26 y 1.84 (Maleki et al., 2016), en contraste con el presente estudio donde el IIA sugiere efectos cuadráticos.

4.5. Conclusiones

La inclusión de grano de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) puede sustituir una proporción del maíz y la pasta de soya en la dieta, sin embargo, la digestibilidad de la materia seca y materia orgánica, así como el potencial de fermentación ruminal decrecen ante el incremento del grano de jamaica en la dieta hasta 25 %. La emisión de CH₄ e IIA no son significativamente diferentes al de la dieta sin grano.

4.6. Literatura citada

- Albores-Moreno, S., Alayón-Gamboa, J. A., Miranda-Romero, L. A., Jiménez-Ferrer, G., Ku-Vera, J. C., & Vargas-Villamil, L. (2018). Nutritional composition, *in vitro* degradation and potential fermentation of tree species grazed by ruminants in secondary vegetation (acahual) of deciduous forest. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 28(5), 1263-1275.
- Akula, R., & Ravishankar, G. A. (2011). Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. *Plant Signaling & Behavior*, 6(11), 1720–1731, doi.org/10.4161/psb.6.11.17613.
- Anhwange, B. A., Ajibola, V. O., & Okibe, F. G. (2006). Nutritive value and anti-nutritional factors in *Hibiscus sabdariffa*. *Journal of Fisheries International*, 1(2-4), 73-76.

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (2000). Official Methods of Analysis. 15th. ed. Association of Official Agricultural Chemists, Washington, DC. 2000 p.
- Arbabi, S., Ghoorchi, T., & Ramzanpour, S. (2017). Use of an *in vitro* Rumen Gas Production Technique to Evaluate the Nutritive Value of Five Forage to Concentrate Ratios. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, 7(2), 249–257.
- Bach, A., Calsamiglia, S., & Stern, M. D. (2005). Nitrogen Metabolism in the Rumen. *Journal of Dairy Science*, 88(E. Suppl.), E9-E21.
- Beauchemin, K., McGinn, S., Benchaar, C., & Holtshausen, L. (2009). Crushed sunflower, flax, or canola seeds in lactating dairy cow diets: Effects on methane production, rumen fermentation, and milk production. *Journal of Dairy Science*, 92(5), 2118–2127, doi.org/10.3168/jds.2008-1903.
- Beshir, A. A., & Babiker, A. (2009). Performance of sudanese desert lambs fed graded levels of roselle (*Hibiscus sabdariffa*) seeds instead of groundnut cake. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8(9), 1442–1445.
- Borja, B. M., Muro, R. L., Espinosa, G. J. A., & Vélez, I. A. (2016). Estructura y funcionamiento de la cadena productiva de esquilmos agrícolas como forraje en la región de El Bajío, México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 39(2), 451–464.
- Bryszak, M., Szumacher-Strabel, M., El-Sherbiny, M., Stochmal, A., Oleszek, W., Roj, E., . . . Cieslak, A. (2019). Effects of berry seed residues on ruminal fermentation, methane concentration, milk production, and fatty acid proportions in the rumen and milk of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 102(2), 1257–1273, doi.org/10.3168/jds.2018-15322.
- Calsamiglia, S., Busquet, M., Cardozo, P., Castillejos, L., & Ferret, A. (2007). Invited Review: Essential Oils as Modifiers of Rumen Microbial Fermentation. *Journal of Dairy Science*, 90(6), 2580–2595, doi.org/10.3168/jds.2006-644.
- Elamin, K., Hassan, H., Abdalla, H., Arabi, O., & Tameem Eld, A. (2012). Effect of Feeding Crushed Roselle Seed (*Hibiscus sabdariffa* L.) (Karkadeh) on Carcass Characteristics of Sudan Desert Sheep. *Asian Journal of Animal Sciences*, 6(5), 240–248, doi.org/10.3923/ajas.2012.240.248.
- Elmasry, A. M. A., Mendoza, G. D., Miranda, L. A., Vázquez, G. Salem, A. Z. M. & Hernández, P. A. (2016). Effects of types and doses of yeast on gas production and *in vitro* digestibility of diets containing maize (*Zea mays*)

and lucerne (*Medicago sativa*) or oat hay. *South African Journal of Animal Science*, 46:392-397.

- Fruet, A. P. B., Stefanello, F. S., Rosado Júnior, A. G., Souza, A. N. M. D., Tonetto, C. J., & Nörnberg, J. L. (2016). Whole grains in the finishing of culled ewes in pasture or feedlot: Performance, carcass characteristics and meat quality. *Meat Science*, 113, 97–103, doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.11.018.
- García E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarla a las condiciones de la República Mexicana). 4 ed. México Distrito Federal, pp 90.
- Ghislain, M. T. (2014). Proximate and Mineral Composition, Protein Quality of *Hibiscus Sabdariffa* L. (Roselle) Seeds Cultivated in Two Agro Ecological Areas in Cameroon. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 3(4), 251-259, doi.org/10.11648/j.ijnfs.20140304.14.
- Hainida, K. E., Amin, I., Normah, H., & Mohd-Esa, N. (2008). Nutritional and amino acid contents of differently treated Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) seeds. *Food Chemistry*, 111(4), 906–911, doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.04.070.
- Herrera-Pérez, J., Crosby-Galván, M. M., Bárcena-Gama, J. R., Hernández-Sánchez, D., Hernández-Mendo, O., Torres-Salado, N., & Cruz-Monterrosa, R. G. (2018). Fermentación ruminal y emisión de gases *in vitro* de dietas con diferente inclusión de semilla de girasol (*Helianthus annuus*). *Agrociencia*, 52, 1071–1080.
- Huhtanen, P., Seppälä, A., Ahvenjärvi, S., & Rinne, M. (2008). Prediction of *in vivo* neutral detergent fiber digestibility and digestion rate of potentially digestible neutral detergent fiber: Comparison of models. *Journal of Animal Science*, 86(10), 2657–2669, doi.org/10.2527/jas.2008-0894.
- Ismail, A., Khairul, E. H., & Mohd, H. S. (2008). Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) seeds- nutritional composition, protein quality and health benefits. *Global Science Book*, 2(1), 1–16.
- Jenkins, T. C. (1993). Lipid Metabolism in the Rumen. *Journal of Dairy Science*, 76(12), 3851–3863, doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(93)77727-9.
- Jiménez-Santiago, A., Jiménez-Ferrer, G., Alayón-Gamboa, A., Pérez-Luna, E. D. J., Piñeiro-Vázquez, A. T., Albores-Moreno, S., Pérez-Escobar, M. G., & Castro-Chan, R. (2019). Fermentación ruminal y producción de metano usando la técnica de gas *in vitro* en forrajes de un sistema silvopastoril de

- ovinos de Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10(2), 298–314, doi.org/10.22319/rmcp.v10i2.4529.
- Khamoshi, S., Kafilzadeh, F., Jahani-Azizabadi, H., & Naseri, V. (2017). Ruminant Methane Emission, Microbial Population and Fermentation Characteristics in Sheep as Affected by *Malva sylvestris* Leaf Extract: *in vitro* Study. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, 7(2), 259–264.
- Klevenhusen, F., Deckardt, K., Sizmaz, Wimmer, S., Muro-Reyes, A., Khiaosard, R., . . . Zebeli, Q. (2015). Effects of black seed oil and *Ferula elaeochytris* supplementation on ruminal fermentation as tested *in vitro* with the rumen simulation technique (Rusitec). *Animal Production Science*, 55(6), 736, doi.org/10.1071/an13332.
- Lara, P. E., Canché, M. C., Magaña, H., Aguilar, E., & Sanginés, J. R. (2009). Producción de gas *in vitro* y cinética de degradación de harina de forraje de morera (*Morus alba*) mezclada con maíz. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 43(3), 273–279.
- Martínez, H. B. E., Salvador, F. O., & Miranda, R. L. A. (2019). Indicador de calentamiento global a partir de la fermentación ruminal de alimentos con diferentes niveles de energía y proteína. *Pastos y Forrajes*, 42(4), 285-289.
- Maffo, G. T., Agbor, E. E., Mekoudjou, N. H., Kengne, S. C., & Gouado, I. (2014). Proximate and Mineral Composition, Protein Quality of *Hibiscus Sabdariffa* L. (Roselle) Seeds Cultivated in Two Agro Ecological Areas in Cameroon. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 3(4), 251–258, doi.org/10.11648/j.ijnfs.20140304.14.
- Maleki, E., Meng, G., Faseleh Jahromi, M., Jorfi, R., Khoddami, A., & Ebrahimi, M. (2016). Pomegranate seed oil rich in conjugated linolenic acids reduces *in vitro* methane production. *South African Journal of Animal Science*, 46(3), 325–335, doi.org/10.4314/sajas.v46i3.13.
- Mao, H. L., Wang, J. K., Zhou, Y. Y., & Liu, J. X. (2010). Effects of addition of tea saponins and soybean oil on methane production, fermentation and microbial population in the rumen of growing lambs. *Livestock Science*, 129(1–3), 56–62, doi.org/10.1016/j.livsci.2009.12.011.
- Mc Arthur, J. M., & Miltimore, J. E. (1961). Rumen gas analysis by gas solid chromatography. *Canadian Journal of Animal Science*, 41(1), 187-196.
- Menke, K. H., & Steingass, H. (1988). Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. *Animal Research Development*. 28: 7-55.

- Miranda-Romero, L. A., Sandoval-González, L., & Améndola-Massiotti, R. (9 al 13 de noviembre 2015). Producción de gas como método para estimar *in vitro* la concentración de carbohidratos fermentables en rumen [Resumen de presentación de la conferencia]. XXIV Congreso de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal. Puerto Varas, Chile, p 474.
- Miranda-Romero, L. A., Tirado-González, D. N., Tirado-Estrada, G., Améndola-Massiotti, R., Sandoval-González, L., Ramírez-Valverde, R., & Salem, A. Z. (2020). Quantifying non-fibrous carbohydrates, acid detergent fiber and cellulose of forage through an *in vitro* gas production technique. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(7), 3099–3110, doi.org/10.1002/jsfa.10342.
- Núñez-Torres, O. P., & Rodríguez-Barros, M. A. (2019). Subproductos agrícolas, una alternativa en la alimentación de rumiantes ante el cambio climático. *Journal of the Selva Andina Animal Science*, 6(1), 24–37.
- Ortiz-Colín, P., Albores-Moreno, S., Alayon-Gamboa, J. A., Candelaria-Martínez, B., Miranda-Romero, L. A., & Ku-Vera, J. C. (2019). Cinética de degradación *in vitro* y digestibilidad de veinte especies arbóreas forrajeras de acahuales de selva baja caducifolia. En: Cetzal-Ix WF, Casanova-Lugo F, Chay-Canul AJ, Martínez-Puc F. *Agroecosistemas tropicales: conservación de recursos naturales y seguridad alimentaria* 1ra Ed. Ciudad de México, México: Tecnológico Nacional de México, 2019, 440-446.
- Osman, N. S., Sapawe, N., Sapuan, M. A., Mohd-Fozi, M. F., Fakhrul, A. M. H., Zafrul, F. A., . . . Hanafi, M. F. (2018). Sunflower shell waste as an alternative animal feed. *Materials Today: Proceedings*, 5(1), 21905–21910, doi.org/10.1016/j.matpr.2018.07.049.
- Palmquist, D., & Jenkins, T. (1980). Fat in Lactation Rations: Review. *Journal of Dairy Science*, 63(1), 1–14, doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(80)82881-5.
- Jenkins, T. C., & Palmquist, D. L. (1984). Effect of Fatty Acids or Calcium Soaps on Rumen and Total Nutrient Digestibility of Dairy Rations. *Journal of Dairy Science*, 67(5), 978–986, doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(84)81396-X.
- Ramírez -Bribiesca, J. E. (2018). Eventos químicos-fisiológicos del metano en los rumiantes. *Agroproductividad*, 11(2), 22–33.
- Ranathunga, S., Kalscheur, K., Hippen, A., & Schingoethe, D. (2010). Replacement of starch from corn with nonforage fiber from distillers grains and soyhulls in diets of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 93(3), 1086–1097, doi.org/10.3168/jds.2009-2332.

- Rodríguez, R., Sosa, A., & Rodríguez, Y. (2007). La síntesis de proteína microbiana en el rumen y su importancia para los rumiantes. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 41(4), 303–311.
- SAS (Statistical Analysis System). (2013). SAS/STAT User's Guide (Release 9.4). Cary, North Carolina. USA: SAS Inst Inc.
- Shaheen, M. A., El-Nakhlawy, F. S., & Al-Shareef, A. R. (2012). Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) seeds as unconventional nutritional source. *African Journal of Biotechnology*, 11(41), 9821–9824, doi.org/10.5897/ajb11.4040.
- Sulliman, G. M., Babiker, S. A., & Eichinger, H. M. (2016). Effect of Hibiscus seed-based diet on chemical composition, carcass characteristics and meat quality traits of cattle. *Indian Journal of Animal Research*, 51(4), 694–699, doi.org/10.18805/ijar.11458.
- Supamong, C., Cherdthong, A., Seankamsorn, A., Khonkhaeng, B., Wanapat, M., Uriyapongson, S., . . . Polyorach, S. (2017). *In vitro* fermentation, digestibility and methane production as influenced by *Delonix regia* seed meal containing tannins and saponins. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 26(2), 123–130, doi.org/10.22358/jafs/73890/2017.
- Theodorou, M., Williams, K. B. A., Dhanoa, M. S., McAllan, A. B., & France, J. (1994). A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Feed Science and Technology*, 48(40), 185-197.
- Tirado-Estrada, G., Ramos-Mijangos, L. M., Miranda- Romero, L. A., Tirado-González, D. N., Salem, A. Z. M., Mlambo, V., Medina-Cuéllar, S. E., González-Reyes, M., & Barababosa, P. A. (2018). Potential impacts of dietary *Lemna gibba* supplements in a simulated ruminal fermentation system and environmental biogas production. *Journal of Cleaner Production*, 181(1), 555–561, doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.120.
- Try Hesty, W., Alimon, A. R., Iman Rahayu, H. S., & Hasanah, M. (1998). Nutrient composition and degradability of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Bulletin of Animal Science, Supplement* (Ed), 115–118.
- Ugbogu, E. A., Elghandour, M. M., Ikpeazu, V. O., Buendía, G. R., Molina, O. M., Arunsi, U. O., . . . Salem, A. Z. (2019). The potential impacts of dietary plant natural products on the sustainable mitigation of methane emission from livestock farming. *Journal of Cleaner Production*, 213, 915–925, doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.233.

- Van Soest, P. J., Robertson J. B., & Lewis B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74, 3583-3597.
- Vazquez-Mendoza, P., Miranda-Romero, L. A., Aranda-Osorio, G., Burgueño-Ferreira, J. A., & Salem, A. Z. M. (2017). *Agroforestry Systems*, 91,749–756.
- Vélez-Terranova, M., Campos Gaona, R., & Sánchez-Guerrero, H. (2014). Uso de metabolitos secundarios de las plantas para reducir la metanogénesis ruminal. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17(1), 489–499.
- Wanapat, M., Cherdthong, A., Phesatcha, K., & Kang, S. (2015). Dietary sources and their effects on animal production and environmental sustainability. *Animal Nutrition*, 1(3), 96–103 doi.org/10.1016/j.aninu.2015.07.004.
- Wencelová, M., Váradyová, Z., Mihaliková, K., Čobanová, K., Plachá, I., Pristaš, P., . . . Kišidayová, S. (2015). Rumen fermentation pattern, lipid metabolism and the microbial community of sheep fed a high-concentrate diet supplemented with a mix of medicinal plants. *Small Ruminant Research*, 125, 64–72, doi.org/10.1016/j.smallrumres.2015.01.028.

CAPÍTULO 5. COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE OVINOS ALIMENTADOS CON GRANO DE JAMAICA Y PROPIONATO DE CALCIO DURANTE LA FINALIZACIÓN¹

Resumen

Existe cada vez más la necesidad de evaluar fuentes alternativas de energía y proteína para la alimentación de rumiantes. El objetivo de este estudio fue evaluar la respuesta al uso de grano de jamaica (GJ) y propionato de Ca (PrCa) durante la finalización de veintiocho corderos machos en engorda intensiva (n=7). Se elaboraron cuatro dietas isoproteicas e isoenergéticas: T1 =Testigo, T2 = con 1 % Propionato de calcio (PrCa), T3 = con 15 % de grano de jamaica (GJ), T4=1 % de PrCa + 15 % de GJ. Se determinaron las variables: peso final (PF), consumo de materia seca (CMS), ganancia diaria de peso (GDP) y conversión alimenticia (CA), pesando durante todo el experimento las muestras de alimento ofrecido y rechazo y cada quince días los corderos para obtener el peso vivo inicial y final. El espesor de la grasa dorsal (EGD) y área del ojo de la chuleta (AOC) fueron medidos con ultrasonido en tiempo real con transductor de 5 MHz. El análisis de los datos se realizó con un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial que incluyó los efectos aleatorios de la repetición dentro de la raza (Rep(Raza)) y los efectos fijos de los niveles de inclusión de PrCa y GJ en la dieta, además de la covariable peso inicial (PI); usando el paquete SAS, con el PROC GLM y PROC Mixed, se reportaron medias ajustadas (LsMeans). No se observaron efectos por uso de GJ en las variables evaluadas, únicamente se encontró efecto sobre el PF con GJ y PrCa, siendo mayor ($p<0.05$) T2 y T3 (43.26 y 42.5 kg) comparado con el T1 y T4 (42.49 y 39.53 kg), lo cual impactó en el AOC del tratamiento con PrCa (1110.99 mm², $p<0.05$). En conclusión, es factible utilizar el GJ y el PrCa en la engorda intensiva de corderos sin afectar su desempeño productivo.

Palabras clave: grano de jamaica, propionato de calcio, ovinos en confinamiento, canal, ultrasonido.

¹Tesis de Doctorado en Ciencias en Innovación Ganadera, Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo
Autor: Rosalba Lazalde Cruz
Director: Luis Alberto Miranda Romero

GROWTH PERFORMANCE OF SHEEP FEED WITH JAMAICA GRAIN AND CALCIUM PROPIONATE FED A FINISHING DIET²

Abstract

There is an increasing need to evaluate alternative sources of energy and protein for ruminant feeding. The objective of this study was to evaluate the response to the use of hibiscus grain (GJ) and Ca propionate (PrCa) during the finishing of twenty-eight male lambs in intensive fattening ($n = 7$). Four isoprotein and isoenergetic diets were prepared: T1 = Control, T2 = with 1% PrCa, T3 = with 15% GJ, T4 = 1 % PrCa + 15% GJ. The variables were determined: final weight (FW), dry matter intake (DMI), average daily gain (ADG) and gain to feed (GF), weighing the samples of food offered and rejection throughout the experiment and every fifteen days the lambs to obtain initial and final live weight. Fat thickness (FT) and *longissimus dorsi* area (LM area), were measured with ultrasound in real time with a 5 MHz transducer. Data analysis was performed with a completely randomized design (CRD) with factorial arrangement that included the random effects of run nested in breed (R(B)) and the fixed effects of the inclusion levels of PrCa and GJ in the diet, in addition, the initial weight was considered as covariate; using the SAS package, with PROC GLM and PROC Mixed, adjusted means were obtained (LsMeans). No effects were observed for the use of GJ in the evaluated variables, an effect was only found on the FW with GJ and PrCa being greater ($p < 0.05$) T2 and T3 (43.26 and 42.5 kg) compared to T1 and T4 (42.49 and 39.53 kg), which impacted on the LM area of treatment with PrCa (1110.99 mm², $p < 0.05$). In conclusion, it is feasible to use GJ and PrCa in the intensive fattening of lambs without affecting their productive performance.

Key words: hibiscus grain, calcium propionate, confined sheep, carcass, ultrasound.

²Doctoral Thesis in Livestock Innovation, Graduate Program in Animal Production, Universidad Autónoma Chapingo
Author: Rosalba Lazalde Cruz
Advisor: Luis Alberto Miranda Romero

5.1. Introducción

La producción de carne ovina tiene un inventario nacional de 8.7 millones de cabezas (SIAP, 2019), mientras que el consumo nacional *per cápita* de carne de ovino es de 0.6 kg por año. Únicamente diez estados producen el 70 % de la carne de ovinos que se consume en México, siendo en orden de importancia: Estado de México, Hidalgo, Veracruz, Jalisco, Puebla, Zacatecas, Tlaxcala, San Luis Potosí, Oaxaca y Guanajuato (SIAP, 2019). Este inventario es insuficiente para cubrir la demanda nacional, aunado al incremento gradual en el precio y la demanda de los cereales (Mendoza et al., 2015) por lo que se ha recurrido a la importación de canales y animales para el abasto de los consumidores, y a la implementación de tecnologías que contribuyen a mejorar los indicadores productivos sin elevar costos (Herrera, Álvarez, Bárcena, & Núñez, 2019). En México, la tecnificación de los sistemas de producción ovina es baja, y depende principalmente de alimentos fibrosos, como son los residuos de cultivos y forrajes de baja calidad, deficientes en minerales y vitaminas y contenido bajo de nitrógeno (Makkar, 2007). Otra tecnología que se ha implementado es la utilización de aditivos alimenticios para incrementar la eficiencia productiva de los ovinos a través de la manipulación de la fermentación ruminal o de modular la composición de la ganancia diaria de peso (Plascencia, 2015). Muchos de estos ingredientes no convencionales contienen cantidades adecuadas de energía y proteína para satisfacer las demandas de nutrientes de los rumiantes. Los esquilmos como las pajas, los rastrojos, las cascarras y las semillas de varias plantas, son aprovechables por los rumiantes debido a la ventaja evolutiva que poseen para utilizar el material vegetal fibroso y poder obtener energía de ellos comparado con los no rumiantes (Yáñez-Ruiz, Abecia, & Newbold, 2015; Russell, 2001).

Hernández et al. (2016) usaron la semilla de *Canavalia ensiformis*, en alimentación de ovinos reportando su contenido de proteína cruda y grasa en 22.8 y 35.3 %. Al incluir la semilla de canavalia en las dietas en un 25%, no observaron efectos negativos en la productividad, el crecimiento y peso de la

canal de los animales. Chuntrakort et al. (2014) resaltan las ventajas de fuentes alternativas de energía como semilla de algodón, de girasol y grano de coco sobre la eficiencia productiva y producción de metano en toros Cebú. Aunque reportan diferencias en consumo de alimento, siendo menor el consumo de materia seca (CMS) de los tratamientos vs el grupo testigo (5.7 vs 4.7 kg), los parámetros ruminales como pH, AGV's totales, relación Acetato: propionato, y cantidad de protozoarios (10^6 cel ml^{-1}), no fueron afectados por los tratamientos. La producción de metano es significativamente menor ($p < 0.001$) cuando estas fuentes de energía son adicionadas a una dieta balanceada (235.6 vs. 127.5 L $día^{-1}$); sugiriendo que la alimentación con fuentes vegetales tiene alto potencial para alimentar a los rumiantes.

Escasas pruebas con grano de jamaica se han llevado a cabo para medir el desempeño productivo de rumiantes cuando se sustituye por otras fuentes de proteína como pasta de cacahuate o soya (Elamin, Hassan, Abdalla, Arabi & Tameem-Eld, 2012; Suliman, Babiker, & Eichinger, 2017). Beshir y Babiker (2009) usaron tres niveles de grano de jamaica para alimentar ovinos (0, 10 y 20 % de inclusión en la dieta), y observaron un incremento lineal sobre el consumo de alimento, conforme el porcentaje de grano aumentó, pero no encontraron efecto en la conversión alimenticia, ni cambios en la conformación de la canal y el rendimiento al corte. En pollo para engorda, Kwari, Igwebuiké, Mohammed y Diarra (2011) sustituyeron hasta 50 % de la pasta de soya en la dieta por semilla de jamaica sin observar efectos significativos sobre la GDP y el PF.

Por su parte, aditivos alimenticios como el propionato de calcio (PrCa), sal orgánica utilizada para conservar granos y prevenir la producción de aflatoxinas (Moreno, Vázquez, & Facio, 2000), se ha usado en la dieta de rumiantes como precursor de ácido propiónico, aumentando su concentración en rumen, el cual es el principal sustrato para la gluconeogénesis hepática (Agarwal, Hu & Bequette, 2015) y, junto con el propilenglicol, en vacas lecheras se ha usado para corregir problemas metabólicos (Liu et al., 2009). Existen dudas acerca del

funcionamiento de esta sustancia en el metabolismo de la energía de los rumiantes debido a su interacción con otros nutrientes, como la retención de N (Agarwal et al. 2015). Una ventaja reportada es que, alimentando ovinos en confinamiento, no se modificó el nivel de grano en la dieta y tampoco se modificaron las variables productivas (Mendoza et al., 2015), proporcionando un suministro de energía a la ración sin afectar el rendimiento en canal. Asimismo, con el suministro de PrCa en la dieta de ovinos se detectó un aumento lineal y cuadrático ($p < 0.05$) en la cantidad de propionato encontrado en los ácidos grasos volátiles en el rumen, que no generaron cambios en el pH del líquido ruminal (Martínez et al., 2018) y, sin embargo, produjeron cambios positivos al bajar la incidencia de acidosis de ovinos con dietas altas en carbohidratos fermentables. El uso de PrCa y el GJ en ovinos en confinamiento sugiere efectos positivos en el comportamiento productivo del rumiante a menor costo, sin embargo, es necesario realizar más investigaciones *in vivo* para comprobar dicho efecto.

Objetivo

Evaluar la respuesta productiva de ovinos alimentados con dietas adicionadas con grano de jamaica y propionato de Calcio, para determinar su potencial en la engorda intensiva de rumiantes como fuente alimenticia de bajo costo.

5.2. Materiales y métodos

5.2.1. Localización

El estudio se llevó a cabo en el módulo de ovinos de la Granja Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo localizado entre las coordenadas 19 ° 29 ' latitud norte, 98 ° 54 ' longitud oeste, a 2240 msnm, con temperatura media anual de 15.9 °C y precipitación media anual de 645 mm (García, 1988); mientras que, el análisis de las muestras de alimento, se realizaron en los laboratorios de Microbiología Pecuaria y Nutrición de Rumiantes del Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México.

5.2.2. Animales y manejo alimenticio

Se utilizaron veintiocho ovinos machos cruzados (peso inicial 25 ± 2 kg) con tres meses de edad promedio. Los animales utilizados en este experimento fueron manejados con las especificaciones técnicas para la producción, así como, para el cuidado y uso de los animales de laboratorio (NOM-062-ZOO). El estudio duró 42 días, con adaptación previa a la dieta asignada de veinte días. Los ovinos se alojaron en corraletas individuales, equipadas con un comedero y bebedero automático a libre acceso.

El alimento totalmente mezclado se proporcionó dos veces al día: a las 9:00 y 15:00 h. Los tratamientos consistieron en cuatro dietas isoproteicas (13.5 % PC) e isoenergéticas (2.7 Mcal EM) (Cuadro 1). Los corderos fueron desparasitados (Oviver®, Lapisa, México), vitaminados (Vigantol ADE Fuerte®, Bayer Animal Health, México) y vacunados (Ultrabac 7 Somubac®, Zoetis, EE. UU.) como manejo de recepción de rutina. La cantidad de alimento ofrecido fue ajustado diariamente para permitir un rechazo aproximado del 10 %. Cada 14 días se registró el peso vivo y se tomaron muestras de heces y de alimento ofrecido y rechazado. Diariamente, se pesó el alimento ofrecido y el rechazado para obtener las variables de consumo de MS. Los cuatro tratamientos fueron asignados al azar, con siete corderos por tratamiento.

5.2.3. Análisis químico de las dietas

A las cuatro dietas se les determinó el contenido de materia seca (MS), proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE), cenizas (CEN) y extracto libre del nitrógeno (ELN) (AOAC, 2000), además del contenido de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) (Van Soest, Robertson, & Lewis, 1991).

5.2.4. Variables de comportamiento productivo

El consumo de alimento (CMS) se estimó por diferencia del alimento ofrecido y alimento rechazado en base seca. La ganancia diaria de peso (GDP) se obtuvo mediante la diferencia del peso inicial y peso final, dividido entre los días de engorda. La conversión alimenticia (CA) fue el resultado de la cantidad de alimento consumido en relación con la ganancia diaria de peso:

$$CA = (\text{alimento consumido, kg} / \text{ganancia diaria de peso, kg})$$

5.2.5. Sacrificio y variables de la composición de la canal

Al finalizar el periodo de engorda (día 42), todos los corderos fueron pesados en ayuno, registrándose así el peso final (PF). Las variables de la composición de la canal fueron tomadas 24 h antes del sacrificio; para esto, fue rasurada un área de pelo entre las vértebras torácicas 12^a y 13^a y las vértebras lumbares 3^a y 4^a, y se realizaron las mediciones con un equipo de ultrasonido en tiempo real (SonoVet 600, Idaho, EE. UU.) con transductor de 5 MHz, utilizando gel acústico para crear contacto entre la sonda y la piel. Todas las medidas se realizaron en el lado derecho del animal por el mismo operador. Una vez capturada la imagen escaneada por la sonda, el área del ojo de la costilla (AOC) y el espesor de la grasa dorsal (EGD) fueron leídas en milímetros al cuadrado (mm²) y milímetros (mm), respectivamente.

5.2.6. Análisis estadístico

El análisis de los datos se realizó utilizando un Diseño Completamente al Azar, con arreglo factorial que incluyó los efectos aleatorios de la repetición dentro de la raza y los efectos fijos de los niveles de inclusión de propionato de Ca y grano de jamaica en la dieta; el peso inicial fue incluido en el modelo como una covariable (Pi) (Modelo 1).

Cuadro 1. Dietas experimentales para ovinos con grano de jamaica, propionato de calcio y su combinación.

Ingrediente	T1	T2	T3	T4
	%, MS			
Maíz amarillo	50.3	49.3	44.8	43.8
Pasta de soya	13.6	13.6	4.9	4.9
Rastrojo maíz	15.0	15.0	15.0	15.0
Grano de jamaica	0.0	0.0	15.0	15.0
Salvado de trigo	9.0	9.0	9.0	9.0
Melaza	6.0	6.0	6.0	6.0
Carbonato de Ca	2.1	2.1	2.1	2.1
Aceite de soya	1.46	1.46	0.6	0.6
Propionato de Ca	0.0	1.0	0.0	1.0
Minerales	1.5	1.5	1.5	1.5
Urea	0.5	0.5	0.5	0.5
Sal común	0.5	0.5	0.5	0.5
Composición de los nutrientes en la dieta (%)				
PC	13.1	12.7	13.2	13.3
EE	3.7	3.9	4.2	4.5
CEN	8.5	10.1	9.2	10.0
FDN	47.3	30.9	40.2	39.9
FDA	12.5	8.6	13.1	13.1
ELN	65.8	66.9	59.8	60.7
Ca	1.0	1.0	1.0	1.0
P	0.19	0.19	0.23	0.23
EM (Mcal /kg ⁻¹)	2.7	2.7	2.7	2.7

T1 = Dieta testigo, T2 = con 1 % de propionato de Ca, T3 = con 15 % de grano de jamaica, T4 = PrCa + GJ, MS = Materia seca, PC = Proteína cruda, EE= Extracto etéreo, CEN = Cenizas, FDN = Fibra detergente neutro, FDA= Fibra detergente ácido, ELN = Extracto libre de nitrógeno, Ca = Calcio, P = Fósforo. EM= Energía metabolizable calculada, (Mcal /kg⁻¹ MS).

Se utilizó el paquete estadístico SAS (2013), usando la programación GLM (Modelo Lineal Generalizado) para el cálculo de los coeficientes de determinación y variación, y PROC Mixed para el ajuste de los valores de probabilidad y la obtención de los errores estándar. Se reportan medias ajustadas (Lsmeans) que fueron comparadas utilizando DMS (P=0.05), la cual fue calculada a partir de los errores estándar y los grados de libertad del error.

Modelo 1

$$Y = \mu + \text{Rep (Raza)}_{ij} + \text{PrCa}_k + \text{GJ}_l + (\text{PrCa} * \text{GJ})_{kl} + \text{Cov} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:

Y = variable de respuesta (PF, CMS, GDP, CA, EGD y AOC);

μ = media general;

Rep (Raza)_{ij} = efecto anidado de la *i*-ésima repetición dentro de la *j*-ésima raza;

PrCa_k = efecto del *k*-ésimo nivel de inclusión de propionato;

GJ_l = efecto del *l*-ésimo nivel de inclusión de grano de jamaica;

(PrCa * GJ)_{kl} = la interacción entre el *k*-ésimo... * el *l*-ésimo nivel de inclusión de PrCa y GJ;

Cov = el efecto del peso inicial como covariable;

ε_{ijkl} = error aleatorio

5.3. Resultados y discusión

Los resultados se presentan en el Cuadro 2. La inclusión de propionato de calcio (PrCa) y GJ afectaron el PF de los corderos ($p < 0.03$) aunque no hubo efecto de la interacción PrCa * GJ. La inclusión de PrCa mostró tendencia a afectar el CMS ($p > 0.08$), igualando al T1 (1.38 kg animal día⁻¹). El GJ no afectó el CMS ($p > 0.05$), y su interacción con PrCa (PrCa * GJ) arrojó el CMS más bajo (1.28 kg). Ninguno de los tratamientos afectó la GDP ($p > 0.05$), ni la CA (Cuadro 2).

En las variables de composición de la canal de los corderos (EDG y AOC), ninguno de los tratamientos afectó el EGD ($p > 0.05$), aunque los corderos del grupo testigo tuvieron 11 % más grasa de cobertura (3.53 mm) que los corderos asignados a los otros tratamientos (3.14, 3.13 y 3.17 mm). La variable AOC se observó ligeramente superior ($P = 0.052$) por efecto de la inclusión de PrCa (1110.99 mm²), mientras que en los demás tratamientos no hubo efecto, aunque

los corderos asignados al T1 tuvieron 3 % más área de chuleta (1129.14 mm²). Las menores áreas de chuleta se observaron en los tratamientos GJ y PrCa *GJ (1026.92 y 1004.97 mm², respectivamente).

5.4. Discusión

5.4.1. Grano de jamaica

El PF fue la única variable afectada por la inclusión de GJ y PrCa en las dietas. Cuando Beshir y Babiker (2009) usaron GJ no encontraron efecto en PF, ni en peso al sacrificio de corderos, ofreciendo tres niveles de GJ en las dietas (0, 10 y 20 %). Estos investigadores, tampoco encontraron diferencias en GDP, pero CMS si fue afectado con 20 % de GJ ya que los corderos incrementaron 15.5 % más el CMS comparado con los corderos que comieron la dieta testigo, sin embargo, estos cambios no se vieron reflejados en la CA. Es posible que el nivel de GJ en la dieta no fue suficiente para detectar cambios en el CMS y por tanto en CA. Además, el nivel de PC en las dietas del presente estudio (13.1 %) no alcanzó el nivel recomendado por NRC (2007) para ovinos en crecimiento y eso pudo disminuir el consumo potencial de alimento de los corderos.

Por otro lado, no hay suficientes estudios donde se ponga a prueba el GJ en las variables de desempeño productivo en rumiantes. Sin embargo, en pollo para engorda Jínez, Cortés, Ávila, Casaubon y Salcedo (1998); Soriano y Tejeda (1995); y Mukhtar (2007) reportan que más de 30 % de inclusión de GJ en las dietas puede repercutir en el consumo de alimento, alterando la conversión alimenticia y causando daño hepático por ácidos grasos detectados como inusuales en las semillas (exoxy-oleico y cyclopropenoide). En esta investigación no se pudo tener suficiente información acerca de la composición química de la carne de los corderos, solo se obtuvieron los valores de EGD y AOC que ayudan a describir la calidad de la canal como aproximación de la calidad de la carne, y las características de la canal (Chay-Canul et al., 2018; Scholz, Bünger, Kongsro, Baulain, & Mitchell, 2015).

Cuadro 2. Medias del efecto del uso de Propionato de Ca y grano de jamaica sobre las variables productivas y de canal.

Tratamiento	PF kg	CMS kg	GDP kg d ⁻¹	CA	EGD mm	AOC mm ²
T1	42.49	1.38	0.31	4.52	3.53	1129.14
T2	43.26	1.38	0.32	4.43	3.14	1110.99
T3	42.50	1.31	0.30	4.55	3.13	1026.92
T4	39.53	1.28	0.25	5.02	3.17	1004.97
R ²	0.82	0.58	0.36	0.39	0.48	0.57
CV	7.80	13.54	22.20	14.09	16.93	12.84
SEM	0.13	0.13	0.04	0.48	0.44	115.11
DMS	0.23	0.23	0.08	0.86	0.81	211.01
Pr > F	0.01	0.46	0.93	0.89	0.81	0.63
	----- P -----					
T2	0.0031	0.0832	0.1842	0.7244	0.7035	0.0529
T3	0.0302	0.4482	0.4306	0.7923	0.6022	0.5526
T4	0.0819	0.6409	0.4864	0.5929	0.5122	0.7246
Pi	0.0028	0.1932	0.9431	0.2085	0.8414	0.2908

T1= Dieta testigo, T2 = 1 % de propionato de Ca, T3 = 15 % de grano de jamaica, T4 = PrCa+GJ, PF = Peso final, CMS = Consumo de materia seca, GDP= Ganancia diaria de peso, CA=Conversión alimenticia, EGD = Espesor de grasa dorsal, AOC = Área del ojo de la costilla. R² = Coeficiente de determinación, CV = Coeficiente de variación, SEM = Error estándar de la media, DMS = Diferencia mínima significativa, Pi = Peso inicial.

Las variables EGD y AOC no fueron afectadas por el consumo de GJ. De acuerdo con Beshir y Babiker (2009) ningún nivel de GJ en la dieta afectó los porcentajes de grasa y musculo en las canales de los corderos. Por su parte, Sulliman, Babiker, & Eichinger (2017), al sustituir por GJ la pasta de cacahuate en la dieta [25 % de sustitución (7.5 % de la dieta total), 50 % (15.1 %), 75 % (22.6 %) y 100 % (30.2) % del total de este ingrediente] en dietas para ovinos, no encontraron diferencias en EGD y AOC, pero el grupo con 100 % de GJ tuvo mayor AOC (15.99 cm²) y con un nivel de inclusión de GJ similar al que se ofreció en este estudio, el AOC disminuyó (14.36 cm²), siendo mas grandes que en este estudio, donde el máximo alcanzado fue de 11.29 cm².

Elamin et al. (2012) ofrecieron 0, 15 y 25 % de GJ a ovinos en confinamiento, donde las canales de los animales que consumieron 15 % de GJ, fueron más pesadas (38.48 kg; $p < 0.05$) y las más ligeras del grupo testigo (37.59 kg). Estos autores también encontraron diferencias en el total de grasa de la canal, donde la dieta testigo acumuló menos grasa (24 %), mientras que la canal con mayor contenido de grasa (26.53%) fue de ovinos que comieron alimento con 25% de GJ. Además, reportaron que la carne proveniente de corderos que comieron alimento con 25 % de GJ tuvo más extracto etéreo (26.22 % que la carne proveniente del grupo testigo (22.96 %). El contenido de aceite y de fitoestrógenos del GJ pudo provocar la mayor acumulación de grasa observada en la canal (Elamin et al., 2012).

Álvarez, Melgarejo y Castañeda (2003) ofrecieron a corderos de 16 kg de PV y 60 días de edad, 30 % de semilla de parota (*Enterolobium cyclocarpum*) en una dieta con 70 % de grano de maíz molido y forraje de maíz picado, y no encontraron diferencias en CMS, GDP, CA. Pero las ganancias registradas fueron de 86 g día⁻¹ con una dieta conteniendo solo 11.7 % de PC, mientras que, en el presente estudio, con dietas con 13.1 % PC, la GDP fue de 300 g día⁻¹. Castro-Pérez et al. (2014), al reemplazar diferentes porcentajes de pasta de soya y maíz rolado con granos secos de destilería (GSD) demostraron que este subproducto puede ser ofrecido a ovinos en crecimiento en altas proporciones sin afectar el comportamiento productivo, obteniendo GDP de 0.241 a 0.270 g d⁻¹ cuando GSD reemplazó en 45 % a los ingredientes convencionales. El CMS varía con el total de FDN y el contenido de energía neta de la dieta (NRC 2007; Castro-Pérez et al. 2014).

5.4.2. Propionato de Ca

Alimentar a los corderos con 1 % de PrCa en la dieta incrementó el PF de los corderos. Resultados similares fueron reportados por Martínez et al. (2018) probando cuatro niveles de PrCa (0, 10, 20 y 30 g kg⁻¹ MS) y encontrando un efecto cuadrático ($p < 0.01$) para PF, siendo más pesados los corderos

suplementados con 10 y 20 g kg⁻¹ de PrCa en la dieta, coincidiendo con nuestro estudio usando la inclusión de 10 g kg⁻¹ MS de PrCa.

Las variables GDP, CMS, CA no fueron afectadas por la inclusión de PrCa en la dieta de los corderos en finalización ($p>0.05$), lo cual coincide con lo reportado por Martínez et al. (2018), Mendoza et al. (2015) y Rangel-Lee et al. (2012). Algunos estudios mencionan que la inclusión de PrCa en la dieta puede disminuir el consumo (Liu et al., 2010), sin embargo, en este estudio CMS de los corderos suplementados con PrCa fue similar al de los corderos asignados al tratamiento testigo, lo cual mejoró la CA de los animales que lo consumieron. Mendoza et al. (2015) reportan la concentración molar del propionato de calcio de 65.13 mmol y observaron disminución en el consumo, lo cual afectó también la CA (5.26 a 5.87), mientras que la concentración molar de PrCa ofrecido en la presente investigación fue de 53.6 mmol calculado para 10 g kg⁻¹ MS de PrCa. Es posible que una dosis más baja de PrCa en la dieta no permita observar cambios en el consumo de alimento en los ovinos en finalización.

Los corderos alimentados con PrCa tuvieron AOC mayores comparado con los demás tratamientos. En contraste, Martínez et al. (2018), usando las mismas dosis de PrCa, no encontraron diferencias en el área del ojo de la chuleta de los corderos, lo cual coincide con lo reportado por Mendoza et al. (2015) y por Lee-Rangel, Mendoza y González (2012). El uso de PrCa y GJ a la dieta redujo en las raciones la proporción de algunos ingredientes convencionales utilizados, sin descuidarse los requerimientos nutricionales para ovinos (NRC, 2007).

Aunque no fue el objetivo de este estudio hacer un análisis económico, se puede observar que ingredientes como el maíz y la pasta de soya se reducen en la dieta por la inclusión de PrCa y GJ, lo cual indica una potencial reducción en el costo de las dietas al usar estos ingredientes no convencionales. Cabe mencionar que el precio del GJ debe considerarse con mesura ya que actualmente la producción es a nivel familiar.

5.5. Conclusiones

Bajo las condiciones de este experimento, podemos concluir que las dietas con grano de jamaica (T3) y propionato de Calcio (T2), son de similar composición que la dieta testigo (T1), en cuanto a que no se modificó la respuesta productiva de manera significativa.

La dieta con la mezcla de ambos ingredientes (T4) produjo cambios menos positivos, con el menor peso final, conversión alimenticia y área del ojo de la chuleta, por lo que no se puede emitir una recomendación de su uso simultáneamente.

En general, el uso de estos ingredientes no convencionales en dietas para ovinos es factible, ya que no afectar el desempeño productivo de los corderos.

5.6. Literatura citada

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (2000). Official Methods of Analysis. 15th. ed. Association of Official Agricultural Chemists, Washington, DC. 2000 p.
- Agarwal, U., Hu, Q., & Bequette, B. J. (2015). Propionate supplementation improves nitrogen use by reducing urea flux in sheep. *Journal of Animal Science*, 93(1), 4883–4890, doi.org/10.2527/jas2015-9226.
- Álvarez, M. G., Melgarejo, V. L., & Castañeda, N. Y. (2003). Ganancia de peso, conversión y eficiencia alimenticia en ovinos alimentados con fruto (semilla con vaina) de parota (*Enterolobium cyclocarpum*) y pollinaza. *Veterinaria México*, 34(1), 39–46.
- Beshir A, A. & Babiker S. (2009). The Effect of feeding diet with graded levels of roselle (*Hibiscus Sabdariffa*) seed on carcass characteristics and meat quality of sudan desert Lamb. *Research Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 4, 35-44.
- Castro-Pérez, B., Estrada-Angulo, A., Ríos, F., Dávila-Ramos, H., Robles-Estrada, J., Contreras-Pérez, G., Calderón-Cortés, J., López-Soto, M., Barreras, A., & Plascencia, A. (2014). Effects of replacing partially dry-rolled corn and soybean meal with different levels of dried distillers grains with solubles on growth performance, dietary energetics, and carcass

- characteristics in hairy lambs fed a finishing diet. *Small Ruminant Research*, 119(1–3), 8–15, doi.org/10.1016/j.smallrumres.2014.03.007.
- Chay-Canul, A. J., Garcia-Herrera, R., Meza-Villalvazo, V. M., Gomez-Vazquez, A., Cruz-Hernandez, A., Magaña-Monforte, J. F., & Ku-Vera, J. C. (2016). Body fat reserves and their relationship to ultrasound back fat measurements in Pelibuey ewes. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 3(9), 407–413.
- Chuntrakort, P., Otsuka, M., Hayashi, K., Takenaka, A., Udchachon, S., & Sommart, K. (2014). The effect of dietary coconut kernels, whole cottonseeds and sunflower seeds on the intake, digestibility and enteric methane emissions of Zebu beef cattle fed rice straw-based diets. *Livestock Science*, 161, 80–89, doi.org/10.1016/j.livsci.2014.01.003.
- Elamin, K., Hassan, H., Abdalla, H., Arabi, O., & Tameem-Eld, A. (2012). Effect of Feeding Crushed Roselle Seed (*Hibiscus sabdariffa* L.) (Karkadeh) on Carcass Characteristics of Sudan Desert Sheep. *Asian Journal of Animal Sciences*, 6(5), 240–248, doi.org/10.3923/ajas.2012.240.248.
- García E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarla a las condiciones de la República Mexicana). 4 ed. México Distrito Federal.
- Hernández-Montiel, W., Ramos-Juárez, J. A., Aranda-Ibáñez, E. M., Hernández-Mendo, O., Munguía-Flores, V. M., & Oliva-Hernández, J. (2016). Alimento fermentado elaborado con semillas de *Canavalia ensiformis* sobre el crecimiento y la canal de corderos Pelibuey. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 7(2), 213–232.
- Herrera, H., J. G., Alvarez, G., Bárcena, G., R., & Núñez, A., J. M. (2019). Caracterización de los rebaños ovinos en el sur de Ciudad de México, México. *Acta Universitaria*, 29, 1–15, doi.org/10.15174/au.2019.2022.
- Jínez, M. T., Cortés, C. A., Ávila, G. E., Casaubon, M. T., & Salcedo, E. R. (1998). Efecto de niveles elevados de semilla de jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) en dietas para pollos sobre el comportamiento productivo y funcionamiento hepático. *Veterinaria México*, 29(1), 35–40.
- Kwari, I. D., Igwebuiké, J. U., Mohammed, I. D., & Diarra, S. S. (2011). Growth, haematology and serum chemistry of broiler chickens fed raw or differently processed sorrel (*Hibiscus sabdariffa*) seed meal in a semi-arid environment. *International Journal of Science and Nature*, 2(1), 22–27.
- Lee-Rangel, H. A., Mendoza, G. D., & González, S. S. (2012). Effect of calcium propionate and sorghum level on lamb performance. *Animal Feed Science and Technology*, 177(3-4), 237-241, doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.08.012.
- Liu, Q., Wang, C., Guo, G., Yang, W. Z., Dong, K. H., Huang, Y. X., Yang, X. M., & He, D. C. (2009). Effects of calcium propionate on rumen fermentation,

- urinary excretion of purine derivatives and feed digestibility in steers. *The Journal of Agricultural Science*, 147(2), 201-209, doi.org/10.1017/s0021859609008429.
- Makkar, H. P. S. (2007). Feed supplementation block technology – past, present and future [Libro electrónico]. En *Feed supplementation blocks: Urea-molasses multinutrient blocks: simple and effective feed supplement technology for ruminant agriculture* (1.^a ed., Vol. 164, pp. 1–12). FAO animal production and health paper. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a0242e/a0242e.pdf>. Consultado julio 2020.
- Martínez-Aispuro, J. A., Sánchez-Torres, M. T., Mendoza-Martínez, G. D., Cordero Mora, J. L., Figueroa-Velasco, J. L., Ayala-Monter, M. A., & Crosby-Galván, M. M. (2019). Addition of calcium propionate to finishing lamb diets. *Veterinaria México OA*, 5(4), 1-9, doi.org/10.22201/fmvz.24486760e.2018.4.470.
- Mendoza-Martínez, G. D., Pinos-Rodríguez, J. M., Lee-Rangel, H. A., Hernández-García, P. A., Rojo-Rubio, R., & Relling, A. (2015). Effects of dietary calcium propionate on growth performance and carcass characteristics of finishing lambs. *Animal Production Science*, 56(7), 1194, doi.org/10.1071/an14824.
- Moreno, M. E., Vázquez, B. M., & Facio, P. F. (2000). Uso de sales del ácido propiónico para inhibir la producción de aflatoxinas en granos almacenados de maíz. *Agrociencia*, 34(4), 477–484.
- Mukhtar, A. M. (2007). The Effect of Feeding Rosella (*Hibiscus Sabdariffa*) Seed on Broiler Chick's Performance. *Research Journal of Animal & Veterinary Science*, 2, 21-23.
- NRC. (2007). Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and New World camelids. National Research Council of the National Academies, National Academies Press. Washington, D.C. U.S.A.
- Plascencia, J. A. (octubre de 2015). *Evaluación de aditivos alimenticios sobre la respuesta productiva de rumiantes finalizados en corral bajo condiciones de alta temperatura ambiental* [Resumen de presentación de la conferencia]. XXV Reunión Internacional sobre Producción de Carne y Leche en Climas Áridos. Ensenada Baja California, México, pp. 1–27.
- Russell, J. B. (2001). Factors That Alter Rumen Microbial Ecology. *Science*, 292(5519), 1119–1122, doi.org/10.1126/science.1058830.
- SAS (Statistical Analysis System). (2013). SAS/STAT User's Guide (Release 9.4). Cary, North Carolina. USA: SAS Inst Inc.
- Scholz, A., Bünger, L., Kongsro, J., Baulain, U., & Mitchell, A. (2015). Non-invasive methods for the determination of body and carcass composition in livestock: dual-energy X-ray absorptiometry, computed tomography,

magnetic resonance imaging and ultrasound: invited review. *Animal*, 9(7), 1250–1264, doi.org/10.1017/s1751731115000336.

- SIAP-Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2019). Inventario ovino. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/564337/Inventario_2019_ovino.pdf. Consultado en noviembre 2020.
- Soriano, T. J., & Tejeda de Hernández, I. (1995). Estudio preliminar del valor nutritivo de la semilla de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) para el pollo de engorda. *Técnica Pecuaria México*, 33(1), 48–52.
- Sulliman, G. M., Babiker, S. A., & Eichinger, H. M. (2017). Effect of Hibiscus seed-based diet on chemical composition, carcass characteristics and meat quality traits of cattle. *Indian Journal of Animal Research*, 51(4), 694–699, doi.org/10.18805/ijar.11458.
- Van Soest, P. J. B., Robertson J. A., & Lewis B. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74, 3583-3597.
- Yáñez-Ruiz, D. R., Abecia, L., & Newbold, C. J. (2015). Manipulating rumen microbiome and fermentation through interventions during early life: a review. *Frontiers in Microbiology*, 6, 1–12, doi.org/10.3389/fmicb.2015.01133.

