

Moringa oleifera Lam.: Una alternativa forrajera en la producción pecuaria en México pág. 106

Año 11 • Volumen 11 • Número 2 • febrero, 2018

ELUCIDANDO LA RELACIÓN ENTRE LA MICROBIOTA RUMINAL Y LA EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA GENÓMICA	3
ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN LA GANADERÍA	9
EL USO DE INHIBIDORES ENZIMÁTICOS DE LA METANOGÉNESIS EN RUMIANTES	16
EVENTOS QUÍMICOS-FISIOLÓGICOS DEL METANO EN LOS RUMIANTES	22
PREDICCIÓN Y MITIGACIÓN DE LAS EMISIONES DE METANO DE LOS RUMIANTES	34
POTENCIAL DE EMISIÓN DE GASES EFECTO INVERNADERO DE PLANTAS FORRAJERAS POR FERMENTACIÓN ENTERICA	40

y más artículos de interés...

Guía para autores

Estructura

Agroproductividad es una revista de divulgación científica y tecnológica, auspiciada por el Colegio de Postgraduados de forma mensual para entregar los resultados obtenidos por los investigadores en ciencias agrícolas y afines. En ella se publica información original y relevante para el desarrollo agropecuario, social y otras disciplinas relacionadas, en formato de artículo, nota o ensayo. Las contribuciones son arbitradas y la publicación final se hace en idioma español. La contribución debe tener una extensión máxima de 15 cuartillas, incluyendo las ilustraciones. Deberá estar escrita en Word a doble espacio empleando el tipo Arial a 12 puntos y márgenes de 2.5 cm. Debe evitarse el uso de sangría al inicio de los párrafos. Las ilustraciones serán de calidad suficiente para su impresión en offset a colores, y con una resolución de 300 dpi en formato JPEG, TIFF o RAW.

La estructura de la contribución será la siguiente:

1) Artículos: una estructura clásica definida por los capítulos: Introducción, Resumen, abstract, objetivos, Materiales y Métodos, Resultados y Discusión, Conclusiones y Literatura Citada; 2) Notas, Ensayos y Relatorías: deben tener una secuencia lógica de las ideas, exponiendo claramente las técnicas o metodologías que se transmiten o proponen.

Formato

Título. Debe ser breve y reflejar claramente el contenido. Cuando se incluyan nombres científicos deben escribirse en *itálicas*.

Autor o Autores. Se escribirán él o los nombres completos, separados por comas, con un índice progresivo en su caso. Al pie de la primera página se indicará el nombre de la institución a la que pertenece el autor y la dirección oficial, incluyendo el correo electrónico.

Cuadros. Deben ser claros, simples y concisos. Se ubicarán inmediatamente después del primer párrafo en el que se mencionen o al inicio de la siguiente cuartilla. Los cuadros deben numerarse progresivamente, indicando después de la referencia numérica el título del mismo (Cuadro 1. Título), y se colocarán en la parte superior. Al pie del cuadro se incluirán las aclaraciones a las que se hace mención mediante un índice en el texto incluido en el cuadro.

Figuras. Corresponden a dibujos, fotografías, gráficas, diagramas. Las fotografías serán a colores y con una resolución de 300 dpi en formato JPEG, TIFF o RAW y las gráficas o diagramas serán en formato de vectores (CDR, EPS, AI, WMF o XLS).

Unidades. Las unidades de pesos y medidas usadas serán las aceptadas en el Sistema Internacional.

Citas libros y Revistas:

- Bozzola J. J., Russell L. D. 1992. Electron Microscopy: Principles and Techniques for Biologists. Ed. Jones and Bartlett. Boston. 542 p.
- Calvo P., Avilés P. 2013. A new potential nano-oncological therapy based on polyamino acid nanocapsules. Journal of Controlled Release 169: 10-16.
- Gardea-Torresdey J. L., Peralta-Videa J. R., Rosa G., Parsons J. G. 2005. Phytoremediation of heavy metals and study of the metal coordination by X-ray absorption spectroscopy. Coordination Chemistry Reviews 249: 1797-1810.

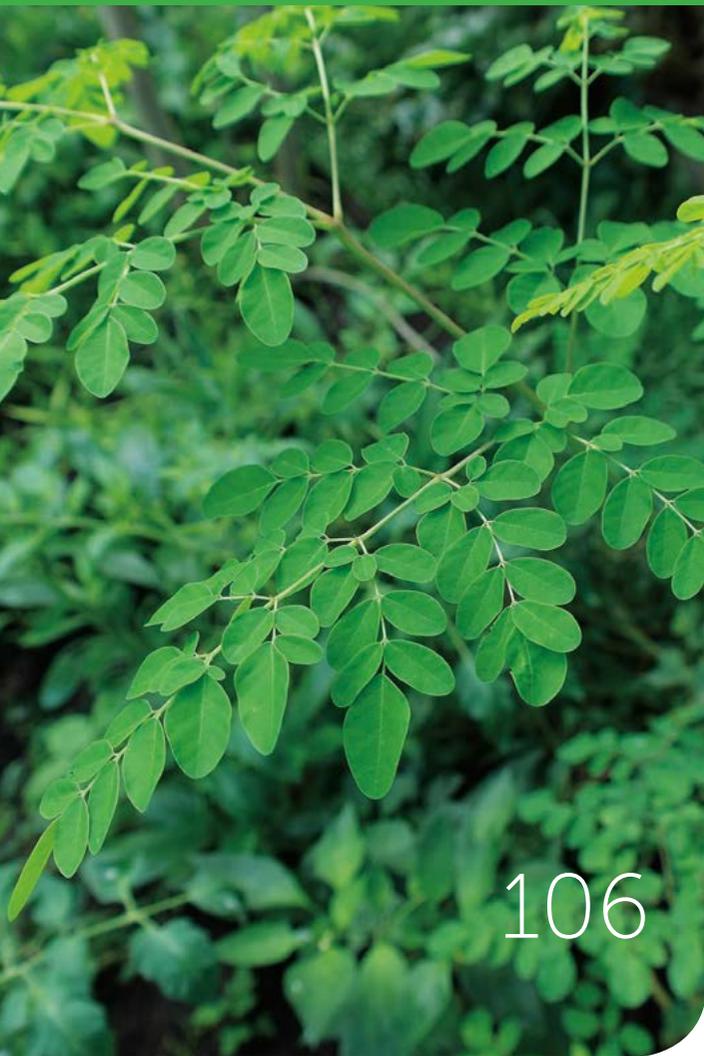
Los autores ceden los derechos patrimoniales y aceptan que los artículos sean publicados en formato físico y electrónico, incluido internet.

El costo por publicación aceptada es \$3500.00 MX.

Año 11, Volumen 11, número 2, febrero 2018, Agro productividad es una publicación mensual editada por el Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco Km. 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. CP 56230. Tel. 5959284427. www.colpos.mx. Editor responsable: Dr. Jorge Cadena Iñiguez. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2017-031313492200-203. ISSN: 2594-0252, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Subdirección de Organización y Cómputo del Colegio de Postgraduados, Dr. Martiniano Castro Popoca, Carretera México-Texcoco Km. 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, CP 56230. Tel. 58045980 ext. 1035. Fecha de última modificación, 8 de febrero de 2018.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Colegio de Postgraduados.



Contenido

3	ELUCIDANDO LA RELACIÓN ENTRE LA MICROBIOTA RUMINAL Y LA EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA GENÓMICA
9	ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN LA GANADERÍA
16	EL USO DE INHIBIDORES ENZIMÁTICOS DE LA METANOGÉNESIS EN RUMIANTES
22	EVENTOS QUÍMICOS-FISIOLÓGICOS DEL METANO EN LOS RUMIANTES
34	PREDICCIÓN Y MITIGACIÓN DE LAS EMISIONES DE METANO DE LOS RUMIANTES
40	POTENCIAL DE EMISIÓN DE GASES EFECTO INVERNADERO DE PLANTAS FORRAJERAS POR FERMENTACIÓN ENTÉRICA
46	EL METANO Y LA GANADERÍA BOVINA EN MÉXICO: ¿PARTE DE LA SOLUCIÓN Y NO DEL PROBLEMA?
52	PRODUCCIÓN DE GAS Y METANO DE SUBPRODUCTOS AGRÍCOLAS EN LA ALIMENTACIÓN DE RUMIANTES
57	CONSIDERACIONES DE BIENESTAR ANIMAL EN LAS ESTRATEGIAS PARA LA DISMINUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE METANO ENTÉRICO POR RUMIANTES
64	TÉCNICA DE PRODUCCIÓN DE GAS <i>in vitro</i> PARA ESTIMAR LA PRODUCCIÓN DE METANO
70	CAMBIO CLIMÁTICO Y GANADERÍA: EL PAPEL DE LA AGROFORESTERÍA
75	ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN DE LAS UNIDADES DE PRODUCCIÓN GANADERAS A LOS RIESGOS CLIMÁTICOS
81	EL USO DE LA CROMATOGRFÍA DE GASES EN INVESTIGACIONES DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DEL SECTOR PECUARIO
89	USOS DE <i>Moringa oleifera</i> Lam. (MORINGACEAE) EN LA ALIMENTACIÓN DE RUMIANTES
94	MALANGA (<i>Colocasia esculenta</i> (L.) Schott) Y CHAYOTE (<i>Sechium edule</i> (Jacq.) Sw.) POR MANGO 'MANILA' (<i>Mangifera indica</i> L.): CAMBIOS EN EL SISTEMA AGRÍCOLA DE LA CUENCA CENTRAL DEL RÍO ACTOPAN, VERACRUZ
100	<i>Moringa oleifera</i> Lam. (Moringaceae): ÁRBOL EXÓTICO CON GRAN POTENCIAL PARA LA GANADERÍA ECOLÓGICA EN EL TRÓPICO
106	<i>Moringa oleifera</i> Lam.: UNA ALTERNATIVA FORRAJERA EN LA PRODUCCIÓN PECUARIA EN MÉXICO
111	CANALES Y MÁRGENES DE COMERCIALIZACIÓN DE LA CORTEZA DE CUACHALALATE (<i>Amphipterygium adstringens</i> Schiede ex Schlecht.) EN LA CIUDAD DE PUEBLA Y ÁREA CONURBADA
120	CAPTURA DE CARBONO EN BIOMASA ÁREA DE ÁRBOLES DE SOMBRA ASOCIADOS A <i>Coffea arabica</i> L. EN EL SOCONUSCO CHIAPAS, MÉXICO
127	CONOCIMIENTO Y POTENCIAL DE USO DE PLANTAS MEDICINALES EN ESTUDIANTES DE PRIMARIA EN EL ESTADO DE CAMPECHE
135	CONDUCTA DE CABRAS (<i>Capra aegagrus hircus</i>) ESTABULADAS EN CORRALETAS ALIMENTADAS CON BLOQUES NUTRICIONALES ELABORADOS CON PULPA DE MANGO
140	IMPLICACIONES SOCIOECONOMICAS POR LA IMPLEMENTACIÓN DE PROGRAMAS DE SANIDAD, CALIDAD E INOCUIDAD ALIMENTARIA EN EL SECTOR PRODUCTIVO DE FRUTAS Y HORTALIZAS EN MÉXICO

SAGARPA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA,
GANADERÍA, DESARROLLO RURAL,
PESCA Y ALIMENTACIÓN



CONACYT
ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS
DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



Corrección de estilo: Hannah Infante Lagarda

Maquetación: Mario Alejandro Rojas Sánchez

Suscripciones, ventas, publicidad, contribuciones de autores:

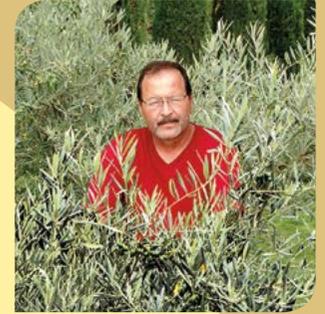
Guerrero 9, esquina Avenida Hidalgo, C.P. 56220, San Luis Huexotla, Texcoco, Estado de México.

Teléfono: 01 (595) 928 4703 jocadena@colpos.mx; jocadena@gmail.com

Impresión 3000 ejemplares.

Es responsabilidad del autor el uso de las ilustraciones, el material gráfico y el contenido creado para esta publicación.

Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad de los autores, y no reflejan necesariamente los puntos de vista del Colegio de Postgraduados, de la Editorial del Colegio de Postgraduados, ni de la Fundación Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas.



Dr. Jorge Cadena Iñiguez

Directorio

Said Infante Gil
Editor General del Colegio de Postgraduados

Rafael Rodríguez Montessoro†
Director Fundador

Jorge Cadena Iñiguez
Director de Agroproductividad

Fernando Carlos Gómez Merino
Director Adjunto de Agroproductividad

Comité Técnico-Científico

Colegio de Postgraduados—Montecillo
Ma. de Lourdes de la Isla
Dr. Ing. Agr. Catedrática Aereopolución

Ángel Lagunes T.
Dr. Ing. Agr. Catedrático Entomología

Enrique Palacios V.
Dr. Ing. Agr. Catedrático Hidrociencias

Colegio de Postgraduados—San Luis Potosí
Fernando Clemente Sánchez
Dr. Ing. Agr. Fauna Silvestre

Luis Antonio Tarango Arámbula
Dr. Ing. Agr. Fauna Silvestre

Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Pedro Cadena I.
Dr. Ing. Agr. Transferencia de Tecnología

Carlos Mallen Rivera
M. C. Director de Promoción y Divulgación

Instituto Interamericano de Cooperación
para la Agricultura
Victor Villalobos A.
Dr. Ing. Agr. Biotecnología

Instituto Interamericano de Cooperación
para la Agricultura
(Guatemala)
Manuel David Sánchez Hermosillo
Dr. Ing. Agr. Nutrición Animal y manejo de Pastizales

Servicio Nacional de Inspección y
Certificación de Semillas
(SNICS-SAGARPA)
Manuel R. Villa Issa
Dr. Ing. Agr. Economía Agrícola.
Director General

Editorial

Volumen 11 • Número 2 • febrero, 2018.

El cambio climático global, un fenómeno cíclico en la historia del planeta, el cual parece que tiene su propio ritmo de acción, y formas de expresión que han dejado huellas en la naturaleza; modificando los exteriores con impactos profundamente interiores que rompen el equilibrio, induce cambios, o elimina especies y ambientes. La premisa de un grupo numeroso de personas con intereses geopolíticos, y que habitan el ámbito de las decisiones en el mundo, lo toman como un fenómeno natural que se quiera, o no, llegará, y por ello, es mejor explotar los recursos varios y generar riqueza. Otros; sin embargo, argumentan ante los que propugnan la desaparición de especies por sus efectos, que simplemente vendrán otras para ocupar el espacio libre que dejaron las anteriores, como ha ocurrido antes de nosotros. Ambas posturas pueden resultar irresponsables ante la calidad de la vida en general. Por ello vale la pena repensar si es prudente, acelerar el cambio mediante los excesos en nuestras actividades, o buscamos el equilibrio para atenuar y retardar sus efectos. En este número,  entrega resultados de investigación con especial énfasis, en el cambio climático, además de otros tópicos interesantes, con la firmeza de colaborar con los autores que suscriben cada artículo, en persuadir a los lectores sobre este importante tema de vida y sustentabilidad.

Dr. Jorge Cadena Iñiguez
Director de 

ELUCIDANDO LA RELACIÓN ENTRE LA MICROBIOTA RUMINAL Y LA EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA GENÓMICA

ELUCIDATING THE RELATIONSHIP BETWEEN RUMEN MICROBIOME AND GREENHOUSE GAS EMISSION THROUGH THE APPLICATION OF GENOMICS

Espinoza-Velasco, B.¹; Ramírez-Mella, M.²; Sánchez-Villarreal, A.³

¹Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Programa de Ganadería. Carretera México-Texcoco km 36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230. ²CONACYT-Colegio de Postgraduados Campus Campeche. Carretera Haltunchén-Edzná km 17.5. Sihochac, Champotón, Campeche. C. P. 24450. ³Colegio de Postgraduados Campus Campeche. Carretera Haltunchén-Edzná km 17.5. Sihochac, Champotón, Campeche. C. P. 24450.

*Autor de correspondencia: asanchezv@colpos.mx

RESUMEN

Dada la naturaleza digestiva de los rumiantes, estos animales han evolucionado para obtener nutrientes a partir de sustratos lignocelulolíticos, particularmente butirato, propionato y acetato, los cuales son los productos de degradación del tejido vegetal por acción del consorcio microbiano que habita en el rumen. Esta microbiota constituida por bacterias, arqueas, hongos y protozoarios se desarrolla en un ambiente anóxico y aunque benéfica para el animal, produce una de las mayores cantidades de metano de la actividad pecuaria. Diversos estudios y tratamientos se han enfocado en abatir la generación de metano ruminal; sin embargo, a la fecha no hay un método viable establecido que disminuya el impacto que genera la actividad ganadera en el cambio climático. El desconocimiento de la comunidad microbiana del rumen, dada su dificultad para aislarlos y cultivarlos *in vitro*, es una de las causas de lo anterior. Actualmente las herramientas genómicas permiten estudiar los consorcios microbianos en ambientes complejos sin la necesidad de aislar a los microorganismos. La aplicación de la metagenómica ha permitido una vasta descripción de la estructura del microbioma ruminal, así como los factores intrínsecos y extrínsecos que la modifican. No obstante, no basta determinar las tasas microbianas del rumen para comprender su función y actividad fisiológica; para ello será necesario el uso de las otras herramientas genómicas que permitan obtener una visión holística de la microbiota ruminal y con ello establecer estrategias que permitan abatir la generación de gases efecto invernadero.

Palabras clave: Cambio climático, gases de efecto invernadero, genómica, rumiantes.

ABSTRACT

Given the digestive nature of ruminants, these animals have evolved to obtain nutrients from lignocellulosic substrates, particularly butyrate, propionate and acetate as byproducts from the degradation of plant tissues due to the action of the ruminal microbial consortia. This microbiome is composed by bacteria, archaea, fungi and protozoa which

Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 2, febrero. 2018, pp: 3-8.

Recibido: diciembre, 2017. **Aceptado:** febrero, 2018.

thrive in an anoxic habitat and, although beneficial to the ruminant, produce the highest amounts of methane derived from livestock production activities. Several studies and treatments have focused in diminishing ruminal methane emissions; however, as of today there is not a viable method established that reduces the impact of livestock on climate change. This in part due to the lack of knowledge of the ruminal microbiome given the difficulty to isolate and grow these organisms *in vitro* conditions. Today, genomic tools allow the study of microbial consortia without the need to isolate the microorganisms. The use of metagenomics has described the ruminal microbiome structure, as well as the intrinsic and external factors that modify it. However, to understand the physiological function and activity of the microbial taxa, it will be necessary to employ other genomic tools in order to attain a holistic view of the ruminal microbiota and with that, to establish strategies that allow decreasing the generation of greenhouse gases.

Keywords: Climate change, greenhouse effect gases, genomics, ruminants.

agrícolas de baja calidad, comunes en los países de regiones tropicales y subtropicales favorecen la producción de CO₂ y CH₄ (Delgado *et al.*, 2012). En México, cerca del 40 % de la carne y 15 % de la leche bovina se producen en regiones tropicales (SIAP, 2015), generalmente en sistemas de doble propósito y principalmente bajo pastoreo extensivo (Orantes-Zebadúa *et al.*, 2014). Lo anterior indica que los sistemas de producción de rumiantes en nuestro país contribuyen de manera significativa a las emisiones de gases de efecto invernadero, por lo que es necesario promover estrategias que permitan disminuirlas.

Existen varias alternativas enfocadas a la reducción de las emisiones de GEI provenientes de los rumiantes, tales como el uso de ionóforos, la defaunación, la suplementación de forrajes de baja calidad con proteína, carbohidratos fermentables y/o grasas, el uso de metabolitos secundarios, probióticos, potenciadores de propionato, estimuladores de microorganismos acetógenos, el desarrollo de bacteriocinas, bacteriófagos y vacunas, así como la selección genética de animales con baja producción de CH₄ (Patra, 2012). Sin embargo debido a la toxicidad de estos químicos en los animales, al alto costo de suplementos o a los efectos poco duraderos en la disminución de la metanogénesis ruminal, es crítico buscar opciones viables que disminuyan el impacto que los rumiantes ejercen en el cambio climático.

Microbiota ruminal

Históricamente la microbiología del rumen ha sido estudiada mediante técnicas de cultivo permitiendo la descripción de varias especies de microorganismos; pero debido a

INTRODUCCIÓN

El rumen, órgano pregástrico de los rumiantes, es un ecosistema en el cual distintos microorganismos incluyendo bacterias, arqueas, hongos y protozoarios, establecieron una simbiosis que permite la degradación de forrajes bajo condiciones anaeróbicas. Estos microorganismos juegan un papel primordial en la salud y nutrición de rumiantes, así como también en la producción de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄). El microambiente en el rumen es anaeróbico, tiene una velocidad de paso de los alimentos relativamente rápida y disponibilidad de CO₂ e hidrógeno (H₂) derivados de la fermentación de los forrajes. Lo anterior favorece el establecimiento de una comunidad de arqueas, la mayoría metanogénicas, distinta a la de otros ambientes anóxicos. Estas arqueas son hidrogenotróficas a pesar de las elevadas concentraciones de acetato en el rumen, lo cual favorecería al grupo de arqueas acetoclásticas (Patra *et al.*, 2017). Los metanógenos ruminales, aprovechan el H₂ y CO₂ producidos por otros miembros de la microbiota ruminal, generando como subproducto el CH₄. Otros substratos empleados por los microorganismos metanógenos ruminales son el ácido fórmico y la metil-amina, los cuales también son producidos por el consorcio microbiano del rumen. El nicho ecológico que ocupan las arqueas metanogénicas en relación con el resto de la microbiota ruminal es la transferencia de H₂, evitando la acumulación de éste y por lo tanto de la inhibición de la fermentación ruminal (Brul y Stumm, 1994; Vogels *et al.*, 1980). La mayoría de los metanógenos habitan de manera libre en el líquido ruminal o forman parte de biopelículas en las partículas de alimento, mientras que un menor porcentaje desarrolla una simbiosis ya sea del tipo ectosimbiótica o endosimbiótica (Valle *et al.*, 2015).

La alimentación de los rumiantes es uno de los factores que influye directamente en las emisiones de GEI; las dietas a base de forrajes y residuos

que la mayoría de éstos no son cultivables, aún no se ha logrado explicar fehacientemente la relación entre las poblaciones microbianas y su función ecológica, con la fisiología del ganado y las respuestas de los animales a suplementos y/o dietas particulares (McCann *et al.*, 2014). En consecuencia, entender la relación de la microbiota ruminal y la modulación de sus poblaciones por factores intrínsecos y extrínsecos es un tema de prioridad mundial para entender su relación con la producción de GEI en rumiantes (Henderson *et al.*, 2015).

La comunidad microbiana del rumen posee tanto microorganismos generalistas como especialistas y se considera existe una redundancia en la comunidad microbiana puesto que los cambios observados en la composición de las poblaciones microbianas no forzosamente provoca cambios en los parámetros de fermentación ruminal como el pH y los ácidos grasos volátiles (AGV) (Henderson *et al.*, 2015).

A pesar de que la dieta tiene un efecto en la composición de las poblaciones microbianas del rumen, se ha descrito un "core" o núcleo microbiano constituido por el phylum Firmicutes, destacando dentro de éste los géneros *Ruminococcus* y *Butyrivibrio*, y el phylum Bacteroides, particularmente *Prevotella*. Se considera que la microbiota ruminal es altamente resistente a cambios y es específica del huésped. Los 30 grupos bacterianos más abundantes encontrados en un estudio global fueron *Prevotella*, *Butyrivibrio*, *Ruminococcus*, así como grupos de las familias *Lachnospiraceae*, *Ruminococcaceae*, *Bacteroidales* y *Clostridiales* (Henderson *et al.*, 2015), los cuales representan hasta

el 67 % del total de bacterias. Por otra parte, la mayoría de las arqueas residentes en el rumen son metanógenas, siendo las especies preponderantes *Methanobrevibacter gottschalkii*, *M. ruminantium*, así como *Methanosphaera* sp. y dos grupos de *Methanomassiliicoccaceae*; los cuales en su conjunto conforman el 89 % de las arqueas metanogénicas. El 11 % restante de las arqueas pueden crecer con grupos derivado de metanol o metil-aminas. Las arqueas metanogénicas que habitan en el rumen pueden estar o no asociadas a otros organismos como hongos o protozoarios (Belanche *et al.*, 2014). El género *Methanobrevibacter* representa alrededor del 65 % de los metanógenos ruminales, y se encuentra tanto en forma libre como asociado a protozoarios del rumen (hasta en un 32 % de la población de arqueas metanógenas), lo que supone una probable asociación selectiva con los protozoarios ruminales (Patra *et al.*, 2017). Esto último resulta importante puesto que al contrario de las bacterias y arqueas, las poblaciones de protozoarios varían ampliamente entre animales, mostrando una alta especificidad entre huésped-hospedero.

De entre todas las poblaciones microbianas que varían dependiendo de la dieta y el hospedero, las bacterias son el grupo responsable de determinar la variabilidad y composición microbiana del rumen, lo cual es reflejo de la versatilidad metabólica de este grupo microbiano en comparación con las arqueas y los protozoarios. A pesar de que la actividad bacteriana produce los substratos para el desarrollo de las arqueas metanogénicas al proveer de hidrógeno y grupos metilo, no existe una correlación entre la presencia de los grupos bacterianos y de las arqueas más abundantes; sin embargo, sí se observa una correlación positiva entre la presencia de grupos de bacterias y arqueas menos abundantes (Henderson *et al.*, 2015). Tampoco hay una fuerte correlación entre los protozoarios con los grupos más abundantes de bacterias y de arqueas metanógenas (Henderson *et al.*, 2015). Todo lo anterior sugiere que existe una competencia por nichos ecológicos, derivando en una flexibilidad entre las poblaciones microbianas productoras y consumidoras de hidrógeno.

La genómica como herramienta en el entendimiento de las emisiones entéricas de CH₄

El advenimiento de las ciencias genómicas y su creciente aplicación ha permitido el estudio global de un sistema biológico. La genómica se define como el estudio de la secuencia de DNA y de las propiedades de los genomas. Por tanto elucidar el genoma de un organismo (genómica) o el de una población (metagenómica) permite conocer el potencial genético de los mismos. Las otras ciencias ómicas son la transcriptómica, la proteómica y la metabolómica; su aplicación en conjunto resulta en la biología de sistemas del inglés "Systems Biology" (Figura 1). Al permitir el estudio de una microbiota compleja y la cual es mayoritariamente incultivable en condiciones de laboratorio, la genómica favorece un mejor conocimiento del consorcio microbiano del rumen. La secuenciación masiva de dicha microbiota (metagenómica) permite la construcción de un catálogo de genes (un microbioma ruminal) y mediante éste conocer el potencial genético y sus funciones. Lo anterior es una herramienta invaluable para el desarrollo de estrategias que mejoren la eficiencia de la digestión de los alimentos y la reducción de la producción de

BIOLOGÍA DE SISTEMAS ("SYSTEMS BIOLOGY")

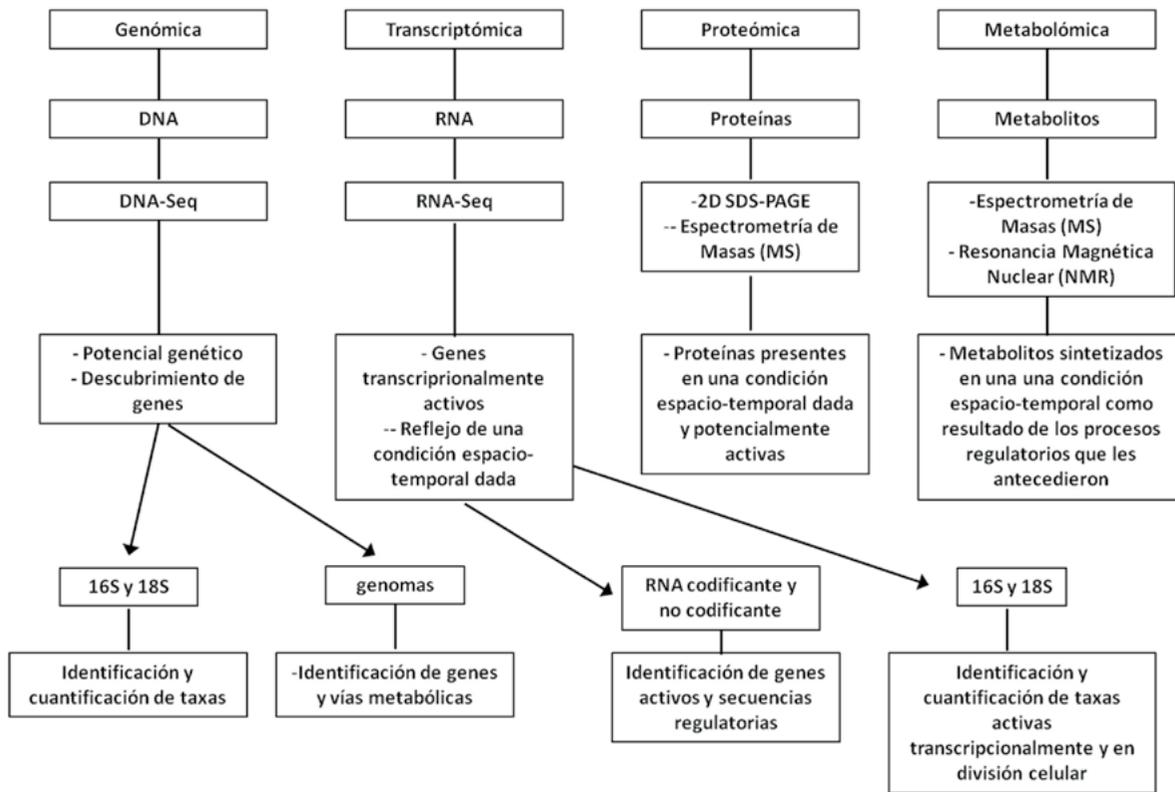


Figura 1. Las Ciencias Genómicas y su Aplicación. En cada columna se indica una de las cuatro ciencias genómicas, las macromoléculas de estudio, las tecnologías empleadas y el potencial de los resultados de su aplicación. En el caso de la genómica y la transcriptómica, se indican las diferencias de un estudio dirigido al gen ribosomal (rRNA 16S y/o 18S) o uno global.

metano entérico, cumpliendo así el desafío de la sostenibilidad y mitigación del cambio climático.

A la fecha, la mayoría de los estudios genómicos del rumen se han enfocado en la identificación y cuantificación de grupos de microorganismos mediante el RNA ribosomal (rRNA) 16S y 18S (McCann *et al.*, 2014; Ross, 2012), lo cual ha permitido obtener un panorama del microbioma ruminal y comparar su diversidad y riqueza, así como el efecto de aditivos o variaciones de la microbiota dependiendo de la raza y región geográfica (McCann *et al.*, 2014; Henderson *et al.*, 2015; Zhou *et al.*, 2009). El esfuerzo internacional del Global Rumen Census concluyó que el microbioma ruminal posee un núcleo microbiano presente independientemente de la raza, genética y distribución geográfica de los animales siendo la dieta el factor más preponderante en las modificaciones de las poblaciones microbianas (Henderson *et al.*, 2015).

Con respecto a la emisión de CH₄, mediante análisis metagenómicos se caracterizaron las comunidades de arqueas metanogénicas en el rumen del búfalo, identi-

ficando los genes involucrados en la síntesis de metano y de la ruta acetoclástica (Singh *et al.*, 2015), que es la ruta alterna de la metanogénesis (Wallace *et al.*, 2017). Mediante el uso de bromoclorometano, un inhibidor enzimático de la metanogénesis, se concluyó que la contribución de la ruta acetoclástica fue mínima (Denman *et al.*, 2015), y se asoció la disminución de la metanogénesis en cabras al incremento en las poblaciones de *Prevotella* y *Selenomonas* spp. y la síntesis de propionato derivada de éstos.

La comparación individual de bovinos con alta y baja producción de metano mostró que en los primeros hay una mayor abundancia de secuencias que codifican para enzimas involucradas directa o indirectamente en la síntesis de metano; mientras que, en los animales con menor producción de CH₄, la población de *Succinivibrionaceae* es más elevada y está asociada a una disminución en la producción de acetato e hidrógeno (Wallace *et al.*, 2015). Roehe *et al.* (2016) identificaron en cruza de animales un total de 3,970 genes de los cuales 20 estaban asociados a emisiones de metano (entre ellos *mcrA* y *fmdB*) y 49 a eficiencia alimenticia y estos repre-

sentaron el 81 % y 86 % de las variaciones en la producción de este gas y eficiencia alimenticia respectivamente. Estos resultados sugieren que las variaciones en la eficiencia alimenticia y la producción de CH₄ están relacionadas con la genética de los animales, y por tanto con la existencia de un control ejercido por el hospedero hacia su microbiota ruminal.

En estudios *ex vivo* relacionados con la eficiencia alimenticia en vacas lecheras concluyeron que los animales más eficientes y con menor producción de CH₄ se asociaban a una menor diversidad de especies microbianas y de genes (Shabat *et al.*, 2016). Asimismo el porcentaje de propionato, butirato e isovalerato era mayor en los animales eficientes, lo anterior concuerda con haber encontrado que los "contigs" correspondientes a los genes que codifican la ruta del acrilato en *Megasphaera elsdenii* para la producción de propionato eran más frecuentes en el ganado eficiente. La ruta de acrilato estabiliza la fermentación ruminal al convertir el lactato en propionato y butirato (Counotte *et al.*, 1981).

Aunque estos estudios contribuyen a esclarecer la relación de la microbiota ruminal con la producción de GEI en rumiantes y el efecto de tratamientos en la mitigación de estos gases; los estudios genómicos y metagenómicos están limitados ya que el estudiar los genomas de las poblaciones microbianas, podemos identificar éstas y su abundancia, así como conocer su potencial genético; es decir qué genes poseen y cuáles son sus funciones. Sin embargo conocer el papel funcional de los genes no esclarece su actividad y función en un ambiente o condi-

ción dado y por tanto el posible nicho ecológico de los microorganismos identificados y en consecuencia su relevancia en el metabolismo ruminal (McCann *et al.*, 2014). Para lo anterior es necesario determinar los genes transcripcionalmente activos (meta-transcriptómica).

Al analizar los cambios en la actividad microbiana, la transcriptómica podría elucidar la relación entre la emisión de CH₄ y CO₂ con el consorcio microbiano puesto que a la fecha la emisión de GEI no está vinculada con la cantidad de ciertas especies y taxas microbianas o al cambio de poblaciones de la microbiota (Wallace *et al.*, 2015). Los estudios meta-transcriptómicos al circunscribirse sólo a los genes expresados permitiría determinar la fisiología e interrelaciones entre los grupos microbianos. A este respecto Qi *et al.* (2011) empleó la meta-transcriptómica en poblaciones eucariotas del rumen del buey almizclero identificando genes con actividad lignocelulítica no descritos previamente. Recientemente también se caracterizó el microbioma de bovinos con alta y baja conversión alimenticia mediante RNA-Seq determinando tanto las poblaciones microbianas activas como genes asociados al metabolismo de los carbohidratos (Li y Guan, 2017). Referente a la producción de metano, un estudio meta-transcriptómico del rumen de ovejas con alta y baja producción de CH₄, concluyó que la diferencia de síntesis de este gas se debía a una mayor tasa de expresión de los genes involucrados en la formación de H₂ y CO₂, puesto que la comunidad microbiana entre los animales alto y bajo productores de CH₄ eran idénticas (Shi *et al.*, 2014). Aunque aún no puede concluirse que la producción de CH₄

se deba a los cambios de expresión genética del consorcio microbiano (Wallace *et al.*, 2015), estos ensayos demuestran el potencial de la meta-transcriptómica para estudiar una población compleja y de difícil estudio en el laboratorio.

Concerniente al uso de la proteómica y metabolómica en el estudio de la microbiota ruminal, éste se ha visto restringido debido a limitaciones técnicas y de falta de bases de datos; sin embargo, los resultados parecen indicar que no existen diferencias significativas del metaproteoma y el metaboloma entre animales con diferente eficiencia alimenticia o de producción de metano. Sin embargo conforme se continúen los estudios ómicos y se genere más información que nutra las bases de datos y permita análisis comparativos y complementarios entre genómica, transcriptómica, proteómica y metabolómica, será posible obtener un panorama completo del microbioma ruminal, comprender sus cambios y por tanto desarrollar estrategias que beneficien al productor y disminuyan la emisión de GEI.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo forma parte del proyecto No. 417 de la Convocatoria de Proyectos de Desarrollo Científico para Atención a Problemas Nacionales 2015 de CONACYT.

LITERATURA CITADA

- Belanche A., De Fuente G., Newbold C.J., 2014. Study of methanogen communities associated with different rumen protozoal populations. *FEMS Microbiology and Ecology* 90: 663-677.
- Brul S., Stum C.K. 1994. Symbionts and organelles in anaerobic protozoa and fungi. *Trends in Ecology and Evolution* 9: 319-324.
- Counotte G.H., Prins R.A., Janssen R.H., Debie M.J. 1981. Role of *Megasphaera elsdenii* in the fermentation of dl-

- [2-C] lactate in the rumen of dairy cattle. *Applied and Environmental Microbiology* 42: 649-655.
- Delgado D.C., Galindo J., González R., González N., Sculll I., Dihigo L., Cairo J., Aldama A.I., Moreira O. 2012. Feeding of tropical trees and shrubs foliage as a strategy to reduce ruminal methanogenesis: studies conducted in Cuba. *Tropical Animal Health and Production* 44: 1097-1104.
- Denman S.E., Martinez-Fernandez G., Shinkai T., Mitsumori M., McSweeney C.S. 2015. Metagenomic analysis of the rumen microbial community following inhibition of methane formation by a halogenated methane analog. *Frontiers in Microbiology* 6: 1087.
- Henderson G., Cox F., Ganesh S., Jonker A., Ypung W., Global Rumen Census Collaborators, Janssen P.H. 2015. Rumen microbial community composition varies with diet and host, but a core microbiome is found across a wide geographical range. *Science Reproduction* 5: 14567.
- Li F., Guan L.L. 2017. Metatranscriptomic profiling reveals linkages between the active rumen microbiome and feed efficiency in beef cattle. *Applied and Environmental Microbiology* 83: Article e00061-17.
- McCann J.C., Wickersham T.A., Loor J.L. 2014. High-throughput methods redefine the rumen microbiome and its relationship with nutrition and metabolism. *Bioinformatics and Biology Insights* 8: 109-125.
- Orantes-Zebadúa M.A., Platas-Rosado D., Córdova-Avalos V., De los Santos-Lara M.C., Córdova-Avalos A. 2014. Caracterización de la ganadería de doble propósito en una región de Chiapas, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 1: 49-59.
- Patra A.K. 2012. Enteric methane mitigation technologies for ruminant livestock: a synthesis of current research and future directions. *Environmental Monitoring and Assessment* 184: 1929-1952.
- Patra A.K., Park T., Kim M., Yu Z. 2017. Rumen methanogens and mitigation of methane emission by anti-methanogenic compounds and substances. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 8:13.
- Qi M., Wang P., O'Toole N., Barboza P.S., Ungerfeld E., Leigh M.B., Selinger L.B., Butler G., Tsang A., McAllister T.A., Forster R.J. 2011. Snapshot of the Eukaryotic Gene Expression in Muskoxen Rumen - A Metatranscriptomic Approach. *PLoS ONE* 6(5).
- Roehe R., Dewhurs R.J., Duthie C.-A., Rooke J.A., McKain N., Ross D.W., Hyslop J.J., Waterhouse A., Freeman T. C., Watson M., Wallace R. J. 2016. Bovine Host Genetic Variation Influences Rumen Microbial Methane Production with Best Selection Criterion for Low Methane Emitting and Efficiently Feed Converting Hosts Based on Metagenomic Gene Abundance. *PLoS Genetics* 12(2):e1005846.
- Ross E.M., Moate P.J., Bath C.R., Davidson S.E., Sawbridge T.I., Guthridge K.M., Cocks B.G., Hayes B.J. 2012. High throughput whole rumen metagenome profiling using untargeted massively parallel sequencing. *BMC Genetics* 13:53.
- Shabat S.K., Sasson G., Doron-Faigenboi, A., Durman T., Yaacoby S., Berg-Miller M.E., White B.A., Shterzer N., Mizrahi I. 2016. Specific microbiome-dependent mechanisms underlie the energy harvest efficiency of ruminants. *The ISME Journal* 10: 2958-2972.
- Shi W., Moon C.D., Leahy S. C., Kang D., Froula J., Kittelmann S., Fan Ch., Deutsch S., Gagic D., Seedorf H., Kelly W.J., Atua R., Sang C., Soni P., Li D., Pinares-Patiño C.S., McEwan J.C., Janssen P.H., Chen F., Visel A., Wang Z., Attwood G.T., Rubin E. M. 2014. Methane yield phenotypes linked to differential gene expression in the sheep rumen microbiome. *Genome Research* 24: 1517-1525.
- SIAP. 2015. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA. www.siap.gob.mx/ganaderia-resumen-estatal-pecuario/
- Singh K.M., Patel A.K., Shah R.K., Reddy B., Joshi C.G. 2015. Potential functional gene diversity involved in methanogenesis and methanogenic community structure in Indian buffalo (*Bubalus bubalis*) rumen. *Journal of Applied Genetics* 56: 411-426.
- Valle E.R., Henderson G., Janssen P.H., Cox F., Alexander T.W., McAllister T.A. 2015. Considerations in the use of fluorescence *in situ* hybridization (FISH) and confocal laser scanning microscopy to characterize rumen methanogens and define their spatial distributions. *Canadian Journal of Microbiology* 61: 417-428.
- Vogels G.D., Hoppe W.F., Stumm C.K. 1980. Association of methanogenic bacteria with rumen ciliates. *Applied and Environmental Microbiology* 40: 608-612.
- Wallace R.J., Rooke J.A., McKain N., Duthie C.-A., Hyslop J.J., Ross D.W., Waterhouse A., Watson M., Roehe R. 2015. The rumen microbial metagenome associated with high methane production in cattle. *BMC Genomics* 16: 839.
- Wallace R.J., Snelling T.J., McCartney C.A., Tapio I., Strozzi F. 2017. Application of meta-omics techniques to understand greenhouse gas emissions originating from ruminal metabolism. *Genetics Selection Evolution* 49:9.
- Zhou M., Hernandez-Sanabria E., Le L.G., 2009. Assessment of the microbial ecology of ruminal methanogens in cattle with different feed efficiencies. *Applied and Environmental Microbiology* 75: 6524-6533.



ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN LA GANADERÍA

GREENHOUSE GAS MITIGATION STRATEGIES IN LIVESTOCK PRODUCTION

Alayón-Gamboa, J.A.^{1*}; Jiménez-Ferrer, G.²; Piñeiro-Vázquez, Á.T.³; Canul-Solís, J.⁴; Albores-Moreno, S.¹; Villanueva-López, G.²; Nahed-Toral, J.²; Ku-Vera, J.C.⁵

¹El Colegio de la Frontera Sur. Av. Rancho Polígono 2-A, Ciudad Industrial, Lerma, Campeche. C. P. 24500. ²El Colegio de la Frontera Sur. Carr. Panamericana y Periférico Sur, Barrio María Auxiliadora, San Cristóbal de las Casas, Chiapas. C. P. 29290. ³Instituto Tecnológico de Conkal. División de Estudios de Posgrado e Investigación. Avenida Tecnológico s/. Conkal, Yucatán. C. P. 97345. ⁴Instituto Tecnológico de Tizimin. Final de Aeropuerto Cupul s/n. C. P. 97700 Tizimin, Yucatán. ⁵Departamento de Nutrición Animal. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Yucatán. Carretera Mérida-Xmatkuil km 15.5. Mérida, Yucatán. C. P. 97300.

*Autor de correspondencia: jalayon@ecosur.mx

RESUMEN

A nivel mundial la producción de rumiantes contribuye con 18 % del total de gases de efecto invernadero; principalmente por las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) al transformarse el uso del suelo; la emisión de metano (CH₄) por fermentación entérica y manejo del estiércol y óxido nitroso (N₂O) por descomposición del estiércol en las unidades ganaderas. La emisión de CH₄ y N₂O repercuten en la producción animal. Por ello se ha estado trabajando en la búsqueda e implementación de prácticas orientadas a la mitigación de sus emisiones, con el fin de impactar en la rentabilidad de las unidades de producción. En el presente documento se hace una revisión de las estrategias prácticas que pueden ser factibles de implementar a nivel de unidades de producción bajo un enfoque de manejo del sistema ganadero.

Palabra clave: Cambio climático, gases de efecto invernadero, GEI, ganadería.

ABSTRACT

Worldwide ruminant production contributes 18 % of total greenhouse gases, mainly from carbon dioxide (CO₂) emissions as a result of land use change; methane (CH₄) emission from enteric fermentation and manure management; and nitrous oxide (N₂O) from the decomposition of manure in livestock production units. The emission of CH₄ and N₂O impacts animal production. For this reason, there has been work to develop and implement practices aimed at mitigating these emissions, in order to impact the profitability of production units. This manuscript is a review of practical strategies that may be feasible to implement at production units under the approach of livestock system management.

Keywords: Climate change, greenhouse effect gases, GEG, livestock.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial el sector ganadero, y con especial énfasis los rumiantes, representa una fuente importante de emisión de gases de efecto invernadero (GEI). Anualmente contribuye con 18 % del total de GEI de origen antropogénico (Steinfeld *et al.*, 2006), principalmente dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). No obstante, la relación entre la ganadería y el cambio climático es mucho más compleja; la ganadería juega un papel crítico en la reducción de la pobreza rural y los servicios ambientales que proveen han sido subestimados y pueden ser cruciales para su adaptación en el futuro (Sejian *et al.*, 2015).

El N₂O y el CH₄ emitido por los rumiantes son los GEI más importantes (75 % del total de emisiones equivalentes en CO₂) y no solo se relaciona con problemas ambientales, también amenaza la sustentabilidad de los sistemas de producción, por una pérdida de energía en el animal (2-12 %) y una disminución en su eficiencia productiva (Hristov *et al.*, 2013; Moumen *et al.*, 2016). Por ello las prácticas orientadas a la mitigación de las emisiones CH₄ y N₂O pueden constituirse en factores importantes que impactan en la rentabilidad de un sistema de producción. En este sentido, es importante considerar que cualquier práctica de mitigación que requiera una inversión adicional y que no sea compensada por agentes externos (por ejemplo programas de gobierno, programas de organizaciones no gubernamentales, entre otros), o que afecte la productividad animal, o aumente los costos de producción, es muy probable que sea rechazada por el productor (Gerber *et al.*, 2013).

Emisión de metano por fermentación entérica

A nivel global los rumiantes producen ~80 teragramos (Tg) de CH₄ anualmente y representan el ~33 % de las emisiones de origen antropogénico (Beuchemin *et al.*, 2008). Los animales rumiantes, particularmente bovinos, búfalos, ovejas, cabras y camellos, producen cantidades importantes de metano mediante procesos digestivos normales (fermentación entérica) que ocurren en condiciones anaeróbicas por acción de la microbiota que vive en el rumen. En esta microbiota se encuentran las arqueas metanógenas que utilizan CO₂ e hidrógeno (H₂) para formar CH₄ (McAllister y Newbold, 2008). La cantidad de metano que se produce en la fermentación entérica es influenciada por varios factores entre ellos están: a) tipo y talla animal; b) digestibilidad del alimento; c) consumo de materia seca, carbohidratos totales, y carbohidratos digestibles (Wilkerson *et al.*, 1995). Al respecto se reporta que del 6 al 10 % de la energía bruta consumida por una vaca se convierte a metano y se elimina por vía respiratoria (Eckard *et al.*, 2010), por lo que reducir su emisión puede conducir a beneficios en la producción.

Emisión de metano y óxido nitroso a partir del manejo del estiércol

El estiércol del ganado y su uso como fertilizante contribuye significativamente en la emisión CH₄ y N₂O; debido a que el estiércol contiene compuestos orgánicos tales como carbohidratos y proteínas que son desdobladas por bacterias. En presencia de oxígeno (O₂) las bacterias aeróbicas convierten las estructuras de carbono (C) a CO₂, pero en ausencia de O₂ las bacterias anaeróbicas convierten las estructuras de C en CH₄ (Sejian *et al.*, 2015).

En condiciones de pastoreo extensivo, el ganado dispersa su estiércol sobre la superficie del terreno, y predomina el proceso de descomposición aeróbica con la consecuente emisión a la atmósfera de CO₂; mientras que, con los sistemas modernos de producción en confinamiento, las grandes cantidades de estiércol que se producen se pueden almacenar en tanques o lagunas bajo condiciones anaeróbicas para la producción de CH₄. Además, el estiércol de los animales contiene distintos compuestos de nitrógeno (N) que son utilizados por las bacterias en los procesos de nitrificación y desnitrificación para formar N₂O. Otras emisiones que se obtienen, en menor cantidad, a partir del manejo del estiércol son el amoníaco (NH₃), óxido nítrico (NO) y compuestos orgánicos volátiles distintos al CH₄ (COVDM).

Estrategias de mitigación

La mitigación de los GEI en la ganadería comprende la identificación de las diferentes fuentes de emisión en el sistema de producción. Las estrategias o acciones de mitigación pueden orientarse a disminuir la producción de los GEI, o aumentar los mecanismos de captura (fuentes sumidero) de los compuestos críticos que promueven la formación de GEI.

A nivel de unidades de explotación, las prácticas de mitigación pueden encaminarse en las siguientes áreas: a) A nivel de los animales y su alimentación; prácticas en el manejo alimenticio y nutrición, modificación en el ambiente ruminal, mejoramiento reproductivo y genético; b) A nivel del sistema de manejo; mejora y manejo de la pradera y de fuentes alimenticias, manejo de la salud animal, y manejo del estiércol.

El énfasis se ha puesto en las estrategias de mitigación relacionadas con el primer inciso, en especial sobre las modificaciones en la alimentación, la fermentación entérica, el manejo del estiércol y deshechos (Gerber *et al.*, 2013). Estos aspectos se abordarán en este documento, debido a que del 40 al 60 % del total de los GEI de la ganadería provienen de la fermentación entérica, el manejo del estiércol y las diferentes actividades relacionadas con la obtención de alimento para los animales (Sejian *et al.*, 2015). Idealmente las estrategias de mitigación se encaminan a disminuir la producción de CH₄, sin alterar la producción animal y mejorando la eficiencia de conversión del alimento.

Prácticas a nivel de unidad de explotación

En el contexto de las unidades de producción ganadera existe un amplio abanico de tecnologías basadas en las buenas prácticas y en la agroforestería para mitigar las emisiones de los GEI. Los sistemas silvopastoriles (SS), a diferencia de otras estrategias de mitigación, son los que se han determinado como los de mayor factibilidad de adopción entre los pequeños productores en el sureste de México (Jiménez-Ferrer *et al.*, 2015). La diversidad de arreglos para el manejo de sistemas silvopastoriles han ayudado a transitar de una ganadería de altos insumos, a una ganadería orgánica con bajos insumos, como lo demuestran las experiencias de Chiapas (Nahed-Toral *et al.*, 2013). En los sistemas de manejo extensivo se ha aprovechado la diversidad y riqueza vegetal de las explotaciones mediante su uso como forraje, por su fácil acceso para el productor. Los sistemas silvopastoriles representan una de las mejores opciones para mitigar las emisiones de CH₄ y N₂O, ya que el uso de los árboles brindan múltiples beneficios; tales como forraje, leña, alimento, medicina, sombra, fertilizan el suelo al incorporar las leguminosas fijadoras de nitrógeno, y reducen el efecto de deforestación al usar la vegetación arbórea en sucesión (Alayón-Gamboa *et al.*, 2016). Respecto a la mitigación de emisiones de CO₂ se ha señalado que con árboles dispersos en los potreros es posible promover una captura de carbono de 88.9 toneladas de carbono por hectárea, y con cercos vivos de 87.5 t C ha⁻¹, mientras que con monocultivo de pasturas solo se obtiene 60.6 t C ha⁻¹ (Jiménez *et al.*, 2008). Asimismo, los cercos vivos con *Gliricidia sepium* promueven un almacenamiento de carbono en el suelo de 20.4 t C ha⁻¹ año⁻¹, en comparación con 19.2 t C ha⁻¹ año⁻¹ de las pasturas en monocultivo (Villanueva-López *et al.*, 2015).

Prácticas de manejo de la alimentación animal

Los países Latinoamericanos se caracterizan por poseer una baja producción de carne y leche de origen animal y con alta producción de emisiones de metano (69 %); los productores poseen muchos animales que son poco productivos, en lugar de mantener pocos animales con alta producción. Se conoce bien que existe una relación inversa entre la productividad animal y las emisiones de CH₄, cuando ésta se expresa como intensificación de la emisión [cantidad de CH₄ emitido por unidad de producto obtenido (carne, leche)] (Gerber *et al.*, 2013; Hristov *et al.*, 2013). Las dos principales limitantes que se presentan para aumentar la productividad animal son un bajo potencial genético y una pobre disponibilidad en cantidad y calidad de alimentos que limitan su eficiencia de utilización (Tarawali *et al.*, 2011). Las estrategias

utilizadas para superar estas limitaciones, si bien tienen un fuerte impacto en la productividad animal, presentan bajos a medios impactos en la mitigación de CH₄ y N₂O en los sistemas de producción animal (Cuadro 1).

Para superar la limitación en la alimentación y disminuir las emisiones de CH₄ se ha ocupado de la suplementación. La práctica de suplementación con mayor posibilidad de adopción por los productores es el uso de alimentos verdes provenientes de follajes arbóreos y pastos de buena calidad (ej. *Pennisetum purpureum*) (Owen *et al.*, 2012). También se ha utilizado la suplementación con fuentes de N (solución de urea de 0.5 a 3 %) para eliminar la limitación de proteína que presentan las dietas a base de pajas y rastrojos. Otras fuentes de suplementación para mejorar la calidad alimenticia han sido la incorporación de nitrato, calcio (Ca), fósforo (P), Cu y Zn (Hristov *et al.*, 2013). También se han utilizado alimentos concentrados, aditivos como grasas, hormonas y promotores de crecimiento (ionóforos; implantes de hormonas, acetato de melengestrol, acetato de trembolona; uso de β -agonistas, rectopamina, zilpaterol). El uso de concentrados ricos en carbohidratos no estructurales (azúcares, almidón) a concentraciones arriba de 35 % de la dieta, provoca una reducción en la producción e intensidad de emisión de CH₄, al reducirse las fuentes de hidrógeno en el rumen, al mismo tiempo que se incrementa el consumo y degradación del alimento, el flujo ruminal del alimento, y un incremento en la captura de hidrógeno mediante la mayor producción de ácido propiónico. No obstante, también se incrementa la emisión de CH₄ vía estiércol y se

Cuadro 1. Estrategias de manejo animal que ofrecen una reducción en la intensidad de las emisiones de gases de efecto invernadero distintas al CO₂ (Modificado de Hristov *et al.*, 2013).

Categoría	Especie	Efecto en productividad	¹ Potencial mitigación CH ₄	¹ Potencial mitigación N ₂ O	² Recomendado
Promotores de crecimiento	Bovinos carne y cerdos	Incremento	Medio	Bajo	Sí; depende de la regulación sanitaria para uso
Selección genética para consumo de alimento residual	Bovinos carne, leche y cerdos	No	Bajo	Inconsistente	Sí; requiere de mayor investigación
Mejora en Salud animal	Todas	Incremento	Bajo	Bajo	Sí
Disminución de mortalidad animal	Todas	Incremento	Bajo	Bajo	Sí
Reducción en días de alimentación y edad de sacrificio	Todas	No	Medio	Medio	Sí

¹ alto= ≥ 30 % mitigación; medio=10 a 30 % de mitigación; bajo= ≤ 10 % de mitigación sobre una práctica estándar² basada en investigación disponible.

puede comprometer la digestibilidad de la fibra en la dieta (Sejian *et al.*, 2015). La adición de grasas en la dieta tiene efectos positivos en la mitigación de CH₄ solo cuando se acompaña con dietas de alta calidad y cuando la concentración no excede el 6 % del extracto etéreo (EE) de la dieta consumida. Los ácidos grasos poliinsaturados ejercen un efecto tóxico en las bacterias celulolíticas y en la población de protozoarios, ocasionando una reducción en la fermentación y digestibilidad de la materia orgánica (MO) y un incremento en la producción de propionato y disminución en la producción de metano. No obstante, al disminuir la fermentación y digestibilidad de la materia orgánica en el rumen, se incrementa la concentración de material orgánico en las heces de los animales y con ello un incremento en la emisión de CH₄ vía estiércol (Sejian *et al.*, 2015). Otras tecnologías que se están implementando en los sistemas de producción intensiva son la alimentación de precisión, que se refiere a cubrir los requerimientos nutricionales de los animales con la formulación y suplementación de nutrientes en la dieta. Su objetivo es disminuir las pérdidas de alimento, maximizar la producción y minimizar las emisiones de CH₄ y N₂O. No obstante, su implementación requiere de disponibilidad de recursos económicos, alimenticios, equipamiento, y un estricto manejo de los sistemas intensivos; por ello, es imposible pensar su implementación en sistemas de producción de subsistencia (Gerber *et al.*, 2013).

Modificación del ecosistema ruminal

La fermentación ruminal puede intervenir con diferentes técnicas para estimular la captura de hidrógeno disponible en el rumen y lograr reducir las emisiones de CH₄. Los inhibidores de metano importantes son los ionóforos, ácidos orgánicos, análogos de metano

halogenados, aceites insaturados y metabolitos secundarios de las plantas (MSP) que agrupan a un conjunto de compuestos entre los que están: taninos, saponinas, alcaloides, y aceites esenciales (AE); también se utilizan probióticos y vacunas contra metanógenos. Todas estas estrategias poseen ventajas y desventajas al usarse como inhibidores en la producción de metano (Kamra *et al.*, 2015).

Entre las diferentes técnicas para intervenir en la fermentación ruminal, el uso de los MSP como aditivos es la más importante debido a que presenta diversas ventajas: a) se presentan de forma natural en la vegetación; b) son más seguros que los compuestos químicos sintéticos; c) con frecuencia lo utilizan los productores con fines terapéuticos; d) presentan un potencial medio a alto de inhibición de CH₄ (Ku-Vera *et al.*, 2013). En la última década se ha realizado un trabajo exhaustivo para inhibir la emisión de metano usando los MSP de una amplia diversidad de plantas en diferentes regiones del mundo. En la región sureste de México Nahed-Toral *et al.* (2013) reportan el uso de 53 especies de plantas dentro de los sistemas silvopastoriles. Por su parte, Jiménez *et al.* (2008) y Ku-Vera *et al.* (2013) reportan cerca de 50 especies ricas en taninos y saponinas con potencial para mitigar CH₄ en la fermentación entérica de rumiantes. Los MSP han mostrado, en condiciones *in vitro*, su habilidad de inhibir la metanogénesis y la población de protozoarios ciliados (Bhatta *et al.*, 2012), e indirectamente la población de arqueas metanógenas o su actividad. No obstante, las respuestas obtenidas dependen del compuesto bioactivo, su concentración, la dieta en la que se adiciona, y la especie animal. Adicionalmente, es posible que afecten también la digestión de la materia orgánica (DMO) y se modifiquen los patrones de fermentación en el rumen

(Patra y Saxena, 2010). La inhibición de la metanogénesis y su efecto en la población de protozoarios ciliados puede variar de 25 % hasta más de 90 % (Patra *et al.*, 2006; Kamra *et al.*, 2008; Kumar *et al.*, 2011). Albores-Moreno *et al.* (2017) concluyen que con 30 % de suplementación de *Enterolobium cyclocarpum* en dietas para borregos se reduce 36 % la producción de metano entérico y ocurre una disminución transitoria en la población total de protozoarios; aunque estos efectos son influenciados por el consumo y digestibilidad de la materia orgánica, y la fibra detergente neutro del alimento.

Los taninos forman parte de los MSP, y son sustancias complejas de compuestos poli fenólicos, dependiendo de su estructura química y peso molecular, tienen propiedades bacteriostáticas y bactericidas y alteran la fermentación ruminal mediante inactivación enzimática; formando complejos con las proteínas, aminoácidos y polisacáridos. Pueden presentar efectos benéficos o negativos dependiendo de su concentración en la dieta, la naturaleza de su origen, la especie animal, estado fisiológico del animal y la composición de la dieta (Makkar, 2003). En dietas a base de pasto (*Pennisetum purpureum*) suplementadas con 30 % de extractos de taninos condensados (TC) de follajes *Acacia cornigera*, *Albizia lebekkoides* y *Leucaena leucocephala*, se reducen significativamente la metanogénesis y la población de *Ruminococcus albus*; asimismo, aumenta la producción de propionato y la eficiencia de utilización de la energía (Rodríguez *et al.*, 2011). Por otra parte, Piñeiro-Vázquez *et al.* (2017) reportaron que TC de *Havardia albicans*, *Acacia pennatula* y *Bursera simaruba* incorporados al 30 % de la materia seca (MS) de la dieta, no afectaron la metanogénesis, la proporción molar de ácidos grasos volátiles (AGV's), y el consumo de materia orgánica (MO) de la dieta. Pero con concentraciones de TC entre 2 % y 3 % de la MS en la ración para novillas, se logra una reducción de 31 % y 47 % de pérdida de energía en forma de metano; sin afectar el consumo de MS y MO, aunque se compromete su digestibilidad en el rumen (Piñeiro-Vázquez *et al.*, 2017). Otros hallazgos señalan que el uso de TC en la dieta reduce la población de protozoarios hasta en 79 % y la producción de CH₄ en el rumen de 33 % hasta 58 %. Además, su utilización en concentraciones de 3 a 6 % de la materia seca en la dieta de rumiantes tiene el potencial de aumentar la ganancia de peso en 26 % (Piñeiro-Vázquez *et al.*, 2015). Se ha sugerido que la acción de los TC puede atribuirse a una inhibición directa de las metanógenas, dependiendo de su estructura química; e indirectamente por su

acción sobre los protozoarios, o por la disminución de la digestibilidad de la fibra. Cuando las fuentes de taninos contienen tanto TC como taninos hidrolizables (TH) se observa una mayor efectividad en la inhibición de la formación de CH₄, en comparación a lo obtenido solo con la presencia de TH (Bhatta *et al.*, 2009).

Otro compuesto de los MSP que se ha estudiado con creciente interés son las saponinas. Las evidencias de sus efectos en la inhibición de CH₄ entérico son muy variadas. Se ven influenciadas por la dosis utilizada, su origen y composición química, y la dieta en la que se encuentra como complemento. La evidencia reciente sugiere que su incorporación a las dietas disminuyen la producción de CH₄, debido a una reducción en el número de protozoarios y/o una disminución en la actividad de las arqueas metanógenas (Bhatta, 2015). Sin embargo existen estudios que señalan que a pesar de que se puede reducir en 20 % la producción de CH₄ al usar saponinas de *Sapindus mukorossi* o *S. saponaria* (Agarwal *et al.*, 2006; Hess *et al.*, 2004), no se reduce el número de protozoarios y de metanógenas; similar respuesta observaron Albores-Moreno *et al.* (2017) al incorporar dosis crecientes de saponinas de *Enterolobium cyclocarpum*. Se sospecha que la falta de efecto en la defaunación ruminal se debe a la adaptación (destoxificación) que desarrollan los protozoarios ante una constante exposición a estos compuestos. Por otro lado, la actividad de inhibición que ejercen las saponinas sobre la metanogénesis también depende de la composición de la dieta. Así se ha encontrado que las saponinas de *Sesbania sesban* ejercen un efecto de inhibición en la producción de CH₄, por una reducción en la población de arqueas (78 %). Este efecto es más pronunciado cuando se adicionan a dietas a base de concentrados que con dietas a base de forrajes (Goel *et al.*, 2008). Por ello es probable que, independiente a la concentración, la incorporación de saponinas en dietas a base de pastos de baja calidad no presente respuestas de inhibición en la producción de CH₄; tal y como lo reporta Canul *et al.* (2014) al suplementar con *Yucca schidigera* (hasta 6 g de saponina por día) dietas a base de *P. purpureum*. Las evidencias concluyentes de que la población microbiana del rumen es capaz de adaptarse a las saponinas al someterse a períodos prolongados de exposición, representa el reto más grande para su aplicación práctica a nivel de campo.

Por otro lado, entre los MSP también se encuentran los AE. En algunas especies de plantas estos compuestos

juegan un papel importante en la inhibición de la producción de CH₄ entérico. Así se ha reportado que los extractos en etanol y metanol de *Foeniculum vulgare* y *Syzygium aromaticum* son capaces de inhibir la producción *in vitro* de metano (Patra *et al.*, 2006); mientras que la adición de 10 g kg⁻¹ de MS de extracto de *Allium sativum* redujo la producción de CH₄ en ovinos y disminuyó la digestibilidad de la fibra (Patra *et al.*, 2010). Por su parte, el uso de timol (aceite esencial del orégano) a 400 mg L⁻¹ ejerce una fuerte inhibición en la producción de metano *in vitro*; y la adición de aceite de ajo (300 mg L⁻¹ de líquido ruminal) reduce la producción de CH₄ en 74 % sin alterar la digestibilidad de los nutrientes (Busquet *et al.*, 2005). Se sospecha que el aceite de ajo y el aceite de menta inhiben directamente a las arqueas metanógenas de manera selectiva y que su efecto está mediado por la concentración utilizada en la dieta.

AGRADECIMIENTO

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el soporte recibido con el proyecto SEP-CONACYT CB-20014-01-No.242541. Cuantificación de emisiones de metano entérico y óxido nitroso en ganadería bovina en pastoreo y diseño de estrategias para la mitigación en el sureste de México.

LITERATURA CITADA

- Agarwal N., Kamra D.N., Chaudhary L.C., Patra A.K. 2006. Effect of *Sapindus mukorossi* extracts on *in vitro* methanogenesis and fermentation characteristics in buffalo rumen liquor. *Journal of Applied Animal Research* 30: 1-4
- Alayón-Gamboa J.A., Jiménez-Ferrer G., Nahed-Toral J., Villanueva-López G. 2016. Estrategias silvopastoriles para mitigar efectos del cambio climático en sistemas ganaderos del sur de México. *Agroproductividad* 9: 10-15.
- Albores-Moreno S., Alayón-Gamboa J.A., Ayala-Burgos A.J., Solorio-Sánchez F.J., Aguilar-Pérez C.F., Olivera-Castillo L., Ku-Vera J.C. 2017. Effects of feeding ground pods of *Enterolobium cyclocarpum* Jacq. Griseb on dry matter intake, rumen fermentation, and enteric methane production by Pelibuey sheep fed tropical grass. *Tropical Animal Health and Production* 49: 857-866.
- Beauchemin K.A., Kreuzer M., O'Mara F., McAllister T.A. 2008. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48: 21-27.
- Bhatta R. 2015. Reducing Enteric Methane Emission Using Plant Secondary Metabolites. In: Sejian V., Gaughan J., Baumgard L., Prasad C. (eds.). *Climate Change Impact on Livestock: Adaptation and Mitigation*. Springer Delhi. pp. 273-284.
- Bhatta R., Saravanan M., Baruah L., Sampath K.T. 2012. Nutrient content, *in vitro* ruminal fermentation characteristics and methane reduction potential of tropical tannin-containing leaves. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 92: 2929-2935.
- Bhatta R., Uyeno Y., Tajima K., Takenaka A., Yabumoto Y., Nonaka I., Enishi O., Kurihara M. 2009. Difference in the nature of tannins on *in vitro* ruminal methane and volatile fatty acid production, and methanogenic archaea and protozoal populations. *Journal of Dairy Science* 92: 5512-5522.
- Busquet M., Calsamiglia S., Ferret A., Carro M.D., Kamel C. 2005. Effect of garlic oil and four of its compounds on rumen microbial fermentation. *Journal of Dairy Science* 88: 4393-4404.
- Canul-Solis J.R., Piñero-Vázquez A.T., Briceño-Poot E.G., Chay-Canul A.J., Alayón-Gamboa J.A., Ayala-Burgos A.J., Aguilar-Pérez C.F., Solorio-Sánchez F.J., Castelán-Ortega O.A., Ku-Vera J.C. 2014. Effect of supplementation with saponins from *Yucca schidigera* on ruminal methane production by Pelibuey sheep fed *Pennisetum purpureum* grass. *Animal Production Science* 54: 1834-1837.
- Eckard R.J., Grainger C., de Klein C.A.M. (2010). Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: a review. *Livestock Science* 130: 47-56.
- Gerber P.J., Henderson B., Makkar H.P. 2013. Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production. A review of technical options for non-CO₂ emissions. FAO, Animal production health paper 177. FAO-Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Goel G., Makkar H.P.S., Becker K. 2008. Changes in microbial community structure, methanogenesis and rumen fermentation in response to saponin-rich fractions from different plant materials. *Journal of Applied Microbiology* 105: 770-777.
- Hess H.D., Beuret R.A., Lotscher M., Hindrichsen I.K., Machmüller A., Carulla J.E., Lascano C.E., Kreuzer M. 2004. Ruminant fermentation, methanogenesis and nitrogen utilization of sheep receiving tropical grass hay-concentrate diets offered with *Sapindus saponaria* fruits and *Cratylia argentea* foliage. *Animal Science* 79: 177-189.
- Hristov A.N., Ott T., Tricarico J., Rotz A., Waghorn G., Adesogan A., Dijkstra J., Montes F., Oh J., Kebreab E., Oosting S.J., Gerber P.J., Henderson B., Makkar H.P.S., Firkins J.L. 2013. Special topics- Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: III. A review of animal management mitigation options. *Journal of Animal Science* 91: 5095-5113.
- Jiménez-Ferrer G., Velasco-Pérez R., Gómez M.U. 2008. Ganadería y conocimiento local de árboles y arbustos forrajeros de la selva Lacandona, Chiapas, México. *Zootecnia Tropical* 26: 333-337.
- Jiménez-Ferrer G.O., Soto-Pinto L., Pérez-Luna E., Ku-Vera J.C., Ayala-Burgos A.J., Villanueva G., Alayón-Gamboa J.A. 2015. Ganadería y cambio climático: Avances y retos de la mitigación y la adaptación en la frontera sur de México. *Sociedades Rurales, Producción y Medioambiente* 15: 51-70.
- Kamra D.N., Agarwal N., Chaudhary L.C. 2015. Manipulation of rumen microbial ecosystem for reducing enteric methane emission in Livestock. In: Sejian V., Gaughan J., Baumgard L., Prasad C. (eds.) *Climate Change Impact on Livestock: Adaptation and Mitigation*. Springer Delhi. pp. 255-272.
- Kamra D.N., Patra A.K., Chatterjee P.N., Kumar R., Agarwal N., Chaudhary L.C. 2008. Effect of plant extracts on methanogenesis and microbial profile of the rumen of buffalo: a brief overview. *Australian Journal Experimental Agriculture* 48: 175-178.
- Ku-Vera J.C., Ayala-Burgos A.J., Solorio-Sánchez F.J., Briceño-Poot E.G., Ruíz G.A., Piñero-Vázquez A.T., Barros R.M., Soto A.M., Espinosa H.J.C., Albores-Moreno S., Chay-Canul A.J., Aguilar-Pérez C.F., Ramírez-Avilés L. 2013. Tropical tree foliage and

- shrubs as feed additives in ruminant rations. In: Salem (ed.) Nutritional strategies of animal feed additives. New York, USA. NOVA Science Publishers. pp. 59-76.
- Kumar R., Kamra D.N., Agarwal N., Chaudhary L.C., Zadbuke S.S. 2011. Effect of tree leaves containing plant secondary metabolites on *in vitro* methanogenesis and fermentation of feed with buffalo rumen liquor. *Animal Nutrition and Feed Technology* 11: 103-114.
- Makkar H.P.S. 2003. Quantification of tannins in tree and shrub foliage. A laboratory manual. FAO/IAEA Publication, Rome, Italy.
- McAllister T.A., Newbold C.J. 2008. Redirecting rumen fermentation to reduce methanogenesis. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48: 7-13.
- Moumen A., Azizi G., Chekroun K.B., Baghour M. 2016. The effects of livestock methane emission on the global warming: a review. *International Journal of Global Warming* 9: 229-253.
- Nahed-Toral J., Valdivieso-Pérez A., Aguilar-Jiménez R., Cámara-Cordova J., Grande-Cano D. 2013. Silvopastoral systems with traditional management in southeastern Mexico: a prototype of livestock agroforestry for cleaner production. *Journal of Cleaner Production* 57: 266-279.
- Owen E., Smit T., Makkar H. 2012. Successes and failures with animal nutrition practices and technologies in developing countries. A synthesis of an FAO e-conference. *Animal Feed Science and Technology* 174: 211-226.
- Patra A.K., Kamra D.N., Agarwal N. 2006. Effect of plant extracts on *in vitro* ethanogenesis, enzyme activities and fermentation of feed in rumen liquor of buffalo. *Animal Feed Science and Technology* 128: 276-291.
- Patra A.K., Kamra D.N., Bhar R., Kumar R., Chaturvedi V.B., Agarwal N. 2010. Effect of *Terminalia chebula* and *Allium sativum* on nutrient utilization and methane production in sheep. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 95: 187-191.
- Patra A.K., Saxena J. 2010. A new perspective on the use of plant secondary metabolites to inhibit methanogenesis in the rumen. *Phytochemistry* 71: 1198-1222.
- Piñeiro-Vázquez A.T., Canul-Solis J.R., Alayón-Gamboa J.A., Chay-Canul A.J., Ayala-Burgos A.J., Solorio-Sánchez F.J., Aguilar-Pérez C.F., Ku-Vera J.C. 2107. Energy utilization, nitrogen balance and microbial protein supply in cattle fed *Pennisetum purpureum* and condensed tannins. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 101: 159-169.
- Piñeiro-Vázquez A.T., Canul-Solis J.R., Alayón-Gamboa J.A., Chay-Canul A.J., Ayala-Burgos A.J., Aguilar-Pérez C.F., Solorio-Sánchez F.J., Ku-Vera J.C. 2015. Potential of condensed tannins for the reduction of emissions of enteric methane and their effect on ruminant productivity. *Archivos de Medicina Veterinaria* 47: 263-272.
- Piñeiro-Vázquez A.T., Canul-Solis J.R., Casanova-Lugo F., Chay-Canul A.J., Ayala-Burgos A.J., Solorio-Sánchez F.J., Aguilar-Pérez C.F., Juan Carlos Ku-Vera J.C. 2017. Emisión de metano en ovinos alimentados con *Pennisetum purpureum* y árboles que contienen taninos condensados. *Revista Mexicana Ciencias Pecuarias* 8: 111-119.
- Rodríguez R., Britos A., Rodríguez-Romero N, Fondevila M. 2011. Effect of plant extracts from several tanniferous browse legumes on *in vitro* microbial fermentation of the tropical grass *Pennisetum purpureum*. *Animal Feed Science and Technology* 168: 188-195.
- Sejian V., Gaughan J., Baumgard L., Prasad C. 2015. *Climate Change Impact on Livestock: Adaptation and Mitigation*. Springer Delhi.
- Steinfeld H., Gerber P., Wassenaar T., Castel V., Rosales M., Haan C. 2006. *Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options*, Rome, FAO-Food and Agriculture Organization of the United Nations, Copenhagen, Denmark.
- Tarawali S., Herrero M., Descheemaeker K, Grings E., Blümmel M. 2011. Pathways for sustainable development of mixed crop livestock systems: Taking a livestock and pro-poor approach. *Livestock Science* 139: 11-21.
- Villanueva-López G., Martínez-Zurimendi P., Casanova-Lugo F., Ramírez-Avilés L., Montañez Escalante G. 2015. Carbon storage in livestock systems with and without live fences of *Gliricidia sepium* in the humid tropics of Mexico. *Agroforestry Systems* 23: 123-132.
- Wilkerson V.A., Casper D.P., Mertens D.R. 1995. Nutrition, feeding, and calves: the prediction of methane production of Holstein cows by several equations. *Journal of Dairy Science* 78: 2402-2414.



EL USO DE INHIBIDORES ENZIMÁTICOS DE LA METANOGENÉISIS EN RUMIANTES

THE USE OF ENZYMATIC INHIBITORS OF METHANOGENESIS IN RUMINANTS

Romero-Pérez, A.^{1*}; Beauchemin, K.A.²

¹Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, 04510, México. ²Lethbridge Research and Development Centre, Agriculture and Agri-Food Canada, Lethbridge, AB T1J 4B1, Canada.

*Autor de correspondencia: atmir@ualberta.ca

RESUMEN

Los inhibidores enzimáticos son moléculas que se unen a enzimas y disminuyen su actividad. Existen diversos inhibidores que han sido ampliamente estudiados y que han demostrado su efectividad para reducir la producción de metano (CH₄) entérico en rumiantes. Sin embargo, su uso comercial se ha visto limitado ya que pueden presentar desventajas como: adaptación microbiana, ser tóxicos o dañinos para el medio ambiente. El reciente desarrollo de compuestos sintéticos con elevado potencial para inhibir la producción de CH₄ y que han probado su efectividad en el largo plazo ha incrementado el interés de los investigadores en esta área del conocimiento. En este trabajo se analizan diversos inhibidores de la metanogénesis desde una perspectiva histórica, poniendo especial énfasis en el 3-nitrooxypropanol, el cual ha sido evaluado bajo diversas condiciones experimentales con resultados alentadores.

Palabras clave: Metano, inhibidores, rumiantes, 3-nitrooxypropanol.

ABSTRACT

Enzymatic inhibitors are molecules that bind to enzymes and decrease their activity. There are various inhibitors that have been widely studied and that have proven their effectiveness in reducing the production of enteric methane (CH₄) in ruminants. However, their commercial use has been limited since they can present disadvantages, such as microbial adaptation, being toxic or harmful to the environment. The recent development of synthetic compounds with high potential to inhibit the production of CH₄ and which have proven their effectiveness in the long term has increased the interest of researchers in this area of knowledge. In this study, different inhibitors of methanogenesis are analyzed from a historical perspective, placing special emphasis on 3-nitrooxypropanol, which has been evaluated under diverse experimental conditions with encouraging results.

Keywords: Methane, inhibitors, ruminants, 3-nitrooxypropanol.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático es uno de los grandes retos que enfrenta la humanidad en este siglo. A nivel mundial la industria ganadera es una fuente importante de gases de efecto invernadero (GEI), ya que contribuye con el 14.5% de las emisiones antropogénicas globales, de las cuales el 44% corresponde a metano (CH₄) el cual proviene principalmente de los procesos de fermentación entérica en los animales rumiantes (Gerber *et al.*, 2013). El CH₄ es producido por los rumiantes durante el proceso normal de digestión y representa una pérdida para el animal de entre el 2 y el 12% de la energía consumida en el alimento (Johnson y Johnson, 1995). Por tanto, reducir la producción de CH₄ es deseable tanto desde el punto de vista ambiental como productivo. Diversas estrategias han sido propuestas y evaluadas como opciones para mitigar la producción de CH₄ en rumiantes (por ejemplo ionóforos, extractos de plantas, mayor inclusión de grano en la dieta, adición de grasa, aceites esenciales, aceptores de electrones, etc.). Algunos aditivos tienen el potencial de reducir las emisiones de CH₄, sin embargo no todos han sido evaluados en experimentos a largo plazo, algunos pueden ser tóxicos o no ser económicamente viables (Hristov *et al.*, 2013). Los inhibidores enzimáticos de la metanogénesis han sido evaluados ampliamente desde los años sesenta con resultados prometedores y el reciente desarrollo de nuevos inhibidores con características mejoradas ha incrementado el interés de los investigadores en este campo de la ciencia.

Inhibidores de la metanogénesis y su clasificación

Los inhibidores enzimáticos se pueden definir como moléculas que se unen a enzimas y disminuyen su actividad. El uso de inhibidores de la producción de CH₄ entérico en la alimentación animal ha sido ampliamente estudiado desde el punto de vista productivo, a través de la disminución de la producción de CH₄ como un medio para mejorar la eficiencia de la utilización de la energía consumida por los animales. Sin embargo, en los últimos años, su estudio también se ha enfocado en la disminución de las emisiones de CH₄ como fin en sí mismo, dada la importante contribución de este gas a las emisiones globales de GEI (Cuadro 1).

Tipos de inhibidores enzimáticos de la metanogénesis

En base a su estructura química es posible dividir a los inhibidores enzimáticos de la metanogénesis en dos categorías generales: 1) Los análogos de CH₄ como el cloroformo o el bromoclorometano (BCM), y 2) los análogos de la coenzima M (CoM) como el bromoetanosulfonato (BES) y el 3-nitrooxypropanol (NOP). Algunos estudios utilizando compuestos con estructuras más complejas y que no corresponden a estas categorías, como la ciclodextrina, también han sido publicados.

Análogos estructurales del metano

El estudio de los inhibidores enzimáticos de la metanogénesis se originó de forma accidental durante un experimento *in vitro* enfocado en la producción de CH₄ utilizando contenido ruminal de bovinos (Bauchop, 1967). La excesiva producción de espuma durante la fermentación se redujo

Cuadro 1. Inhibidores de metano entérico evaluados en rumiantes.

Inhibidor	Especie	Dosis, g por día ^a	Duración, días	Disminución de CH ₄ , %	Producción animal
BCM	Bovinos carne ⁽¹⁾	5.5	28	100	NA
	Cabras ⁽²⁾	0.13	70	33	NA
	Bovinos carne ⁽³⁾	1.1	90	60	NA
Cloroformo ^b	Bovinos leche ⁽⁴⁾	2.2	42	94-95	NA
BES ^b	Ovinos ⁽⁵⁾	2	7	99	NE
	Ovinos ⁽⁶⁾	0.1	30	25	NA
NOP	Bovinos carne ⁽⁷⁾	2.8	28	33	NA
	Bovinos carne ⁽⁸⁾	2	112	59	NA
	Bovinos carne ⁽⁹⁾	1.2	238	29-81	↑ EA
	Bovinos carne ⁽¹⁰⁾	0.8-2.1	28	16-49	NE
	Bovinos leche ⁽¹¹⁾	2	28	60	↑ GDP
	Bovinos leche ⁽¹²⁾	2.2	84	32	↑ GDP
	Bovinos leche ⁽¹³⁾	2.5	28	37	NA

BCM, bromoclorometano; BES, bromoetanosulfonato; NOP, 3-nitrooxypropanol; NA, no se afectó; NE, no se evaluó; ↑, incremento; EA, eficiencia alimenticia; GDP, ganancia diaria de peso.

⁽¹⁾Johnson *et al.* (1972); ⁽²⁾Abecia *et al.* (2012); ⁽³⁾Tomkins *et al.* (2009); ⁽⁴⁾Knight *et al.* (2011);

⁽⁵⁾Immig *et al.* (1996); ⁽⁶⁾Martínez-Fernández *et al.* (2014); ⁽⁷⁾Romero-Pérez *et al.* (2014); ⁽⁸⁾Romero-Pérez *et al.* (2015); ⁽⁹⁾Vyas *et al.* (2016a); ⁽¹⁰⁾Vyas *et al.* (2016b); ⁽¹¹⁾Haisan *et al.*, 2014; ⁽¹²⁾Hristov *et al.* (2015); ⁽¹³⁾Haisan *et al.* (2017).

^a Dentro de cada experimento solo se presenta la dosis que tuvo un mayor efecto. Las dosis fueron transformadas a g/día en caso de ser necesario.

^b Se observó adaptación microbiana al compuesto.



con un producto antiespumante. El posterior análisis de las muestras de gas mostró que el CH₄ no se encontraba presente en la mezcla de gases. La composición del producto antiespumante era desconocida pero tenía un olor parecido al cloroformo. El olor a cloroformo y la analogía estructural entre el CH₄ y el cloroformo respaldaron la hipótesis de que este compuesto estaba presente en el antiespumante y de que era el responsable de la reducción en la producción de CH₄. Para probar esta hipótesis, se llevaron a cabo una serie de experimentos *in vitro* para evaluar los efectos antimetanogénicos del cloroformo y de otros análogos estructurales del CH₄ como el diclorometano y el tetraclorometano (Bauchop, 1967). Todos los compuestos evaluados redujeron la producción de CH₄ en un 86-100% y dicha reducción fue acompañada por la acumulación de gas hidrógeno (H₂). Dado que la mayor parte del CH₄ en el rumen se forma a partir del CO₂ y H₂, una disminución en la producción de CH₄ puede resultar en la acumulación de H₂ en caso de que éste no sea redirigido hacia otros productos de la fermentación que requieran H₂ para ser sintetizados.

El modo de acción de los análogos del CH₄ está basado en la inhibición de las reacciones de transferencia del grupo metilo durante el proceso de metanogénesis que dependen de la vitamina B₁₂ (Tomkins *et al.*, 2009).

Diversos experimentos se han realizado tanto *in vitro* como *in vivo* para evaluar el potencial de mitigación de la producción de CH₄ de diferentes inhibidores enzimáticos. Por ejemplo, Van Nevel *et al.* (1969), reportaron que la producción de CH₄ en ovinos fue completamente inhibida con la infusión de 4 g de hidrato de cloro directamente en el rumen. También observaron un incremento en la concentración de propionato y una reducción en la concentración de acetato en el líquido ruminal. El cambio en los productos de fermentación hacia más propionato es una respuesta comúnmente observada con la utilización de inhibidores en la alimentación de rumiantes, lo cual es deseable desde el punto de vista productivo ya que el propionato es un compuesto gluconeogénico que puede incrementar la energía disponible para la producción de carne y leche. En general, existe una relación inversa entre el CH₄ y el propionato por lo que una disminución en la producción de CH₄ puede causar un aumento en la producción de propionato, ya que la síntesis de propionato representa una vía alterna para el H₂ en el rumen. Por su parte, Trei *et al.* (1971) demostraron que el uso de halometanos

simples como el BCM eran potentes inhibidores de la metanogénesis. Esto fue confirmado en un experimento con novillos consumiendo 5.5 g de BCM (Johnson *et al.*, 1972) en donde la producción de CH₄ se inhibió completamente sin afectar la ganancia diaria de peso (GDP).

Debido a que los halometanos son líquidos volátiles, su utilización como aditivos alimenticios no es viable a nivel de granja; por tanto, algunos investigadores se enfocaron en el desarrollo de nuevos inhibidores de la metanogénesis que tuvieran propiedades físicas más deseables. Sin embargo, dichos inhibidores con propiedades mejoradas resultaron ser poco efectivos para reducir la producción de CH₄ en experimentos con animales (Czerkawski y Breckenridge, 1975).

El estudio de los análogos estructurales del CH₄ como estrategia para reducir las emisiones de CH₄ en rumiantes ha continuado hasta la fecha, siendo el cloroformo y el BCM los inhibidores con mayor potencial de reducción dentro de esta categoría (Knight *et al.*, 2011; Abecia *et al.*, 2012; Tomkins *et al.*, 2009).

A pesar de su potencial para reducir las emisiones de CH₄, la utilización de compuestos como el cloroformo y el BCM presentan diversos inconvenientes. El cloroformo es tóxico (Plaa, 2000), mientras que el BCM es un compuesto cuyo uso ha sido prohibido en diversos países debido a que puede dañar la capa de ozono (Tomkins *et al.*, 2009). Por tanto, los estudios más recientes utilizando estos compuestos se han realizado únicamente con el objetivo de comprender mejor el metabolismo del rumen cuando la metanogénesis es inhibida y para determinar sus posibles efectos en la producción animal pero sin la finalidad de validar su uso como una estrategia para reducir las emisiones de CH₄ a nivel de granja.

Análogos estructurales de la coenzima M

El estudio de los inhibidores de la metanogénesis correspondiente al grupo de análogos de la CoM tuvo su origen en los años 70's, después del descubrimiento de dicha coenzima, la cual participa en la transferencia de grupos metilo en la metanogénesis (McBride y Wolfe, 1971). Las formas metiladas de la CoM y la coenzima B (CoB) son utilizadas como sustrato por la enzima metil-CoM reductasa (MCR) en el último paso de la metanogénesis. Una vez que se reveló la estructura química de la CoM, una serie de experimentos se

llevaron a cabo para evaluar los efectos inhibitorios de diferentes análogos estructurales, en el entendido de que estos compuestos podían competir por el sitio activo reservado para esta coenzima y de esta manera inhibir la síntesis de CH₄. Por ejemplo, cuando el BES se evaluó en ovinos (Immig *et al.*, 1996), la infusión del compuesto a través de la cánula en rumen resultó en una drástica disminución de la concentración de CH₄, (99%); sin embargo, después de 4 días la concentración de CH₄ se recuperó, evidenciando la adaptación de los microorganismos del rumen a este compuesto. En consecuencia, la idea de utilizar el BES para reducir la producción de CH₄ a nivel de granja fue abandonada. El BES ha sido utilizado como modelo para desarrollar nuevos compuestos que tengan características similares pero que puedan disminuir la producción de CH₄ a largo plazo.

El caso del 3-nitrooxypropanol (NOP)

El descubrimiento de la estructura cristalina de la enzima MCR junto con la disponibilidad de técnicas *in silico* y de cribado virtual, han abierto las puertas al desarrollo de nuevos compuestos que pueden competir con la CoM por el sitio activo en la enzima MCR. Las investigaciones en esta área del conocimiento lideradas por DSM Nutritional Products (Basel, Switzerland) condujeron al reciente desarrollo de la molécula sintética NOP (Duval y Kindermann, 2012). Este inhibidor fue diseñado para no tener carga, permitiendo la penetración en las células por medio de difusión pasiva, y para ser moderadamente oxidante. Estas consideraciones dieron paso a una serie de candidatos potenciales que mejor se acoplaban al sitio activo de la MCR, dentro de los cuales el NOP resultó ser el más prometedor. La enzima MCR tiene un cofactor (F₄₃₀) que posee un ion níquel el cual se puede encontrar en diferentes estados de oxidación (I, II y III) pero tiene que estar en su forma Ni(I) para ser activo (Thauer, 1998). La estructura molecular del NOP es similar a la de la metil-CoM. Esta característica, junto con su potencial moderado de oxidación permiten que el NOP se acople al sitio activo de la enzima MCR donde favorece la oxidación del ion níquel el cual pasa de su forma activa Ni(I) a su forma inactiva Ni(II), inhibiendo así el proceso de metanogénesis (Duin *et al.*, 2016).

Martínez-Fernández *et al.* (2014) fueron los encargados de realizar las primeras evaluaciones del NOP en rumiantes. Al ser evaluado *in vitro*, el NOP (66 μ M) redujo la producción de CH₄ hasta en un 95%. Posteriormente, en un experimento con ovinos recibiendo 0.1 g por

animal por día de NOP se observó una disminución de las emisiones de CH₄ del 30% sin efectos negativos en el consumo de alimento o GDP. Tomando como base la experiencia exitosa en ovinos, se planearon nuevos estudios en Canadá, Reino Unido y más recientemente Estados Unidos para verificar la eficacia del NOP tanto en ganado bovino productor de carne como de leche.

En un estudio realizado en la Universidad de Alberta (Haisan *et al.*, 2014), se evaluó el uso del NOP (2.5 g por animal por día) en bovinos productores de leche consumiendo una dieta con 38% de forraje. En este estudio la producción de CH₄ disminuyó en un 60% sin observarse efectos negativos sobre el consumo de alimento, la producción de leche o la composición de la misma. Adicionalmente, las vacas consumiendo NOP incrementaron su GDP, indicando que la reducción de la producción de CH₄ incrementó la energía disponible para los animales. En un estudio posterior (Haisan *et al.*, 2017), la adición de 1.25 y 2.5 g por animal por día de NOP a la dieta de vacas lactantes (60% de forraje) redujo las emisiones de CH₄ en un 23 y 37% respectivamente sin comprometer la producción de leche. La diferencia entre estos dos experimentos en cuanto a la magnitud de la disminución de las emisiones de CH₄ fue atribuida al tipo de dieta consumida, ya que dietas con menor contenido de forraje están asociadas a una menor producción de CH₄.

Por otra parte, en un estudio realizado por Romero-Pérez *et al.* (2015) con bovinos productores de carne consumiendo hasta 2.7 g por animal por día de NOP, las emisiones de CH₄ disminuyeron hasta en un 33% sin afectar negativamente la digestibilidad. Al igual que otros inhibidores de la metanogénesis, el uso de NOP generó un incremento en la concentración de propionato en el rumen. La inhibición en la producción de CH₄ fue confirmada en un experimento a largo plazo de 112 días (Romero-Pérez *et al.*, 2015). Por su parte, Vyas *et al.* (2016a) en una prueba de comportamiento observaron que la adición de NOP redujo la producción de CH₄ hasta en 29% cuando bovinos de engorda fueron alimentados con una dieta a base de forraje (35% de forraje) y hasta en 81% cuando la dieta fue a base de grano (92% de grano). Dicha disminución de CH₄ estuvo acompañada de una mayor eficiencia alimenticia cuando se utilizó la dieta a base de forraje; sin embargo, la reducción sustancial en las emisiones de CH₄ con la dieta a base de grano no mejoró el comportamiento productivo de los animales. Aparentemente, una disminución



moderada de las emisiones de CH₄ (aproximadamente 30%) parece estar asociada con un mejor rendimiento y eficiencia energética, posiblemente porque los cambios en el ecosistema ruminal no son drásticos (Vyas *et al.*, 2016a).

Hristov *et al.* (2015) realizaron un estudio a largo plazo utilizando vacas en lactancia donde la producción de CH₄ se redujo hasta en un 30% cuando el NOP (40, 60 y 80 mg NOP kg⁻¹ alimento en base seca) se administró por un periodo de 12 semanas. La producción de CH₄ se mantuvo inhibida a lo largo del experimento lo cual indicó que no hubo adaptación al compuesto por parte de los microorganismos del rumen. Al igual que Haisan *et al.* (2014), Hristov *et al.* (2015) reportaron un incremento promedio en la GDP (80%) sin efectos negativos en la producción de leche. A decir de los autores de estos estudios, la razón por la cual la GDP se vio favorecida sobre la producción de leche se puede deber a que los animales se encontraban en una etapa media de la lactancia, en la cual la producción de leche ya no es una prioridad energética. Los experimentos con bovinos de leche son los que más claramente demuestran como la disminución de la pérdida de energía del alimento en forma de CH₄ puede dar como resultado una mayor disponibilidad de energía para fines productivos.

CONCLUSIONES

LOS inhibidores enzimáticos de la metanogénesis representan una de las estrategias nutricionales con mayor potencial para reducir las emisiones de CH₄ en rumiantes. En particular, el

compuesto NOP ha demostrado ser a la fecha la solución más prometedora para disminuir la contribución de la ganadería al cambio climático. Esto debido a su efectividad para reducir la producción de CH₄ a largo plazo sin afectar negativamente la producción animal. Sin embargo, antes de su eventual aprobación para uso animal y su posterior adopción a nivel de granja existen otros factores que deben ser evaluados. Es necesario comprobar que el uso de NOP es seguro para los humanos, los animales y el ambiente antes de su registro para uso animal. Por tanto, es esencial que este compuesto no se acumule en la carne o leche de los animales que lo consuman. Para su adopción en granja, el NOP debe ser de fácil implementación, debe de mejorar el comportamiento productivo de los animales y tiene que ser producido y comercializado a un costo compatible con la industria de la nutrición animal. Es más probable que el uso de NOP se adopte en sistemas de producción intensiva donde los animales consumen el alimento directamente en un comedero. En el caso de sistemas de producción extensivos, en condiciones de pastoreo, es posible que su uso sea limitado, a menos que se puedan desarrollar tecnologías para dosificar NOP bajo estas condiciones. La naturaleza sintética del NOP puede ser una barrera para su adopción debido a la creciente percepción pública negativa hacia este tipo de productos. Sin embargo, dada la creciente demanda de alimentos producidos de forma sustentable, el uso de un producto como el NOP en la producción de carne y leche puede resultar atractivo.

LITERATURA CITADA

- Abecia L., Toral P. G., Martín-García A. I., Martínez G., Tomkins N.W. Molina-Alcaide E., Newbold C.J., Yañez-Ruiz D.R. 2012. Effect of bromochloromethane on methane emission, rumen fermentation pattern, milk yield, and fatty acid profile in lactating dairy goats. *Journal of Dairy Science* 95: 2027-2036.
- Bauchop T. 1967. Inhibition of rumen methanogenesis by methane analogues. *Journal of Bacteriology* 94: 171-175.
- Czerkawski J. W., Breckenridge G. 1975. New inhibitors of methane production by rumen microorganisms. Experiments with animals and other practical possibilities. *British Journal of Nutrition* 34: 447-457.
- Duin E. C., Wagner T., Shima S., Prakash D., Cronin B., Yañez-Ruiz D.R., Duval S., Rumbeli R., Stemmler R.T., Thauer R.K., Kindermann M. 2016. Mode of action uncovered for the specific reduction of methane emissions from ruminants by the small molecule 3-nitrooxypropanol. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 113: 6172-6177.
- Duval S., Kindermann M. 2012. Use of nitrooxy organic molecules in feed for reducing enteric methane emissions in ruminants, and/or to improve ruminant performance. World Intellectual Property Organization. International Patent Application WO 2012/084629 A1.
- Gerber P.J., Steinfeld H., Henderson B., Mottet A., Opio C., Dijkman J., Faluccci A., Tempio G. 2013. Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería – Una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Roma, Italia.
- Haisan J., Sun Y., Guan L.L., Beauchemin K.A., Iwaasa A., Duval S., Barreda D.R., Oba M., 2014. The effects of feeding 3-nitrooxypropanol on methane emissions and productivity of Holstein cows in mid lactation. *Journal of Dairy Science* 97: 3110-3119.
- Haisan J., Sun Y., Guan L.L., Beauchemin K.A., Iwaasa A., Duval S., Kindermann M., Barreda D.R., Oba M. 2017. The effects of feeding 3-nitrooxypropanol at two doses on milk production, rumen fermentation, plasma metabolites, nutrient digestibility, and methane emissions in lactating Holstein cows. *Animal Production Science* 57: 282-289.
- Hristov A. N., Oh J., Giallongo F., Frederick T.W., Harper M.T., Weeks H.L., Branco A.F., Moate P.J., Deighton M.H., Williams S.R.O., Kindermann M., Duval S. 2015. An inhibitor persistently decreased enteric methane emission from dairy cows with no negative effect on milk

- production. Proceedings of the National Academy of Science of the U. S. A. 112: 10663-10668.
- Hristov A. N., Oh J., Lee C., Meinen R., Montes F., Ott T., Firkins J., Rotz A., Dell C., Adesogan A., Yang W., Tricarico J., Kebreab E., Waghorn G., Dijkstra J., Oostin S. 2013. Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production – A review of technical options for non-CO₂ emissions. [P. J. Gerber, B. Henderson, H.P.S. Makkar, editors]. FAO Animal Production and Health Paper No. 177. FAO, Rome, Italy.
- Immig I., Demeyer D., Fiedler D., Van Nevel C., Mbanzamihigo L. 1996. Attempts to induce reductive acetogenesis into a sheep rumen. Arch. Tierernaehr. 49: 363–370.
- Johnson E.D., Wood A.S., Stone J.B., Moran Jr. E.T. 1972. Some effects of methane inhibition in ruminants (steers). Canadian Journal of Animal Science 52: 703-712.
- Johnson K.A., Johnson D.E. 1995. Methane emissions from cattle. Journal of Animal Science 73: 2483-2492.
- Knight T., Ronimus R.S., Dey D., Tootill C., Naylor G., Evans P., Molano G., Smith A., Tavendale M., Pinares-Patiño C.S., Clark H. 2011. Chloroform decreases rumen methanogenesis and methanogen populations without altering rumen function in cattle. Animal Feed Science and Technology 166-167: 101-112.
- Martínez-Fernández G., Abecía L., Arco A., Cantalapiedra-Hijar G., Martín-García A.I., Molina-Alcaide E., Kindermann M., Duval S., Yáñez-Ruiz D.R. 2014. Effects of ethyl-3-nitrooxy propionate and 3-nitrooxypropanol on ruminal fermentation, microbial abundance, and methane emissions in sheep. Journal of Dairy Science 97: 3790-3799.
- McBride B.C., Wolfe R.S. 1971. A new coenzyme of methyl transfer, coenzyme M. Biochemistry 10: 2317-2324.
- Plaa G.L. 2000. Chlorinated methanes and liver injury: highlights of the past 50 years. Annual Review of Pharmacology and Toxicology 40: 43-65.
- Romero- Pérez A., Okine E.K., McGinn S.M., Guan L.L., Oba M., Duval S.M., Kindermann M., Beauchemin K. A. 2014. The potential of 3-nitrooxypropanol to lower enteric methane emissions from beef cattle. Journal of Animal Science 92: 4682-4693.
- Romero- Pérez A., Okine E.K., McGinn S.M., Luan L.L., Oba M., Duval S.M., Kindermann M., Beauchemin K.A. 2015. Sustained reduction in methane production from long-term addition of 3-nitrooxypropanol to a beef cattle diet. Journal of Animal Science 93: 1780-1791.
- Thauer R. 1998. Biochemistry of methanogenesis: a tribute to Marjory Stephenson. Microbiology 144: 2377-2406.
- Tomkins N.W., Colegate S.M., Hunter R.A. 2009. A bromochloromethane formulation reduces enteric methanogenesis in cattle fed grain-based diets. Animal Production Science 49: 1053-1058.
- Trei J.E., Parish R.C., Singh Y.K., Scott G.C. 1971. Effect of methane inhibitors on rumen metabolism and feedlot performance of sheep. Journal of Dairy Science 54: 536-539.
- Van Nevel C.J., Henderickx H.K., Demeyer D.I., Martin J. 1969. Effect of chloral hydrate on methane and propionic acid in the rumen. Applied Microbiology 17: 695-700.
- Vogels G.D., Hoppe W.F., Stumm C.K. 1980. Association of methanogenic bacteria with rumen ciliates. Applied and Environmental Microbiology 40: 608-612.
- Vyas D., McGinn S.M., Duval S., Kindermann M., Beauchemin K.A. 2016a. Effects of sustained reduction of enteric methane emissions with dietary supplementation of 3-nitrooxypropanol on growth performance of growing and finishing beef cattle. Journal of Animal Science 94: 2024-2034.
- Vyas D., McGinn S.M., Duval S., Kindermann M., Beauchemin K.A. 2016b. Optimal dose of 3-nitrooxypropanol for decreasing enteric methane emissions from beef cattle fed high-forage and high-grain diets. Animal Production Science <https://doi.org/10.1071/AN15705>.



EVENTOS QUÍMICOS-FISIOLÓGICOS DEL METANO EN LOS RUMIANTES

CHEMICAL-PHYSIOLOGICAL EVENTS OF METHANE IN RUMINANTS

Ramírez-Briebesca, J.E.^{1*}

¹Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Programa de Ganadería. Carretera Federal México Texcoco km 36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-SUA. Ciudad Universitaria. Ciudad de México. C. P. 04510.

*Autor de correspondencia: efrenrb@colpos.mx

RESUMEN

Los rumiantes participan con el 18 % del metano (CH₄) total producido en el mundo, considerado como el segundo gas de efecto invernadero que acelera el cambio climático global. Durante el proceso fermentativo en el rumen, los iones dihidrógeno (H₂) y dióxido de carbono (CO₂) son utilizados por arqueas para formar CH₄. En el tema de la metanogénesis, las investigaciones pecuarias se enfocan en diferentes líneas: 1) Identificar las especies y géneros metanógenos predominantes; 2) Estudiar los modelos estereoquímicos fermentativos en el rumen para capturar H₂; 3) Esclarecer las rutas de liberación de CH₄ en el organismo animal; y 4) Evaluar productos naturales y químicos para disminuir la formación de CH₄ entérico. En esta revisión se recaba información sobresaliente sobre el tema, se discuten diferentes estrategias para mitigar el CH₄ y reducir su impacto en el ambiente.

Palabras clave: Cambio climático, metano, actividad ganadera, metanogénesis, arqueas.

ABSTRACT

Ruminants contribute 18 % of the total methane (CH₄) produced in the world, considered the second greenhouse gas accelerating global climate change. During the fermentation process in the rumen, dihydrogen ions (H₂) and carbon dioxide (CO₂) are used by archaea to form CH₄. In the field of methanogenesis, livestock research focuses on different lines: 1) Identifying predominant methanogenic species and genera; 2) Studying fermentative stereochemical models in the rumen to capture H₂; 3) Clarifying the routes of CH₄ liberation in the animal organism; and 4) Evaluating natural and chemical products to decrease the formation of enteric CH₄. In this review, outstanding information on the subject is collected and different strategies to take better advantage of this natural process are discussed, and to reduce its impact on the environment.

Keywords: Climate change, methane, livestock activity, methanogenesis, archaea.

Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 2, febrero. 2018, pp: 22-33.

Recibido: diciembre, 2017. **Aceptado:** febrero, 2018.

INTRODUCCIÓN

La importancia de conocer la formación y función fisiológica del metano (CH₄) en los rumiantes radica en la contribución que tiene este gas en el calentamiento global y su efecto invernadero en el planeta. Específicamente, los rumiantes contribuyen con el 18 % del CH₄ total producido en el mundo (Beauchemin *et al.*, 2007). Durante el proceso fermentativo, la producción de los ácidos grasos volátiles, son rápidamente absorbidos en el rumen y utilizados como fuente de energía, mientras otros productos como el dihidrógeno (H₂) y el dióxido de carbono (CO₂) son utilizados por los microorganismos del rumen, pertenecientes al dominio Archaea para producir CH₄, el cual es liberado al exterior por el eructo y la espiración. El CH₄ se integra al grupo de gases que causa el efecto invernadero; por dicho motivo, los esfuerzos se encaminan en reducir las emisiones en los sistemas de producción animal. Varias estrategias se han sugerido para disminuir las emisiones de CH₄, pero para poderlas realizar es necesario conocer de inicio las rutas químicas y fisiológicas que ocurren en el organismo animal. El propósito es antagonizar estas vías metanógenas y no afectar los procesos fermentativos-digestivos de los nutrientes que demerite la productividad.

Este manuscrito aborda los eventos químicos fisiológicos de la formación de CH₄ en el rumen, la importancia estereoquímica de las moléculas, las vías de eliminación de CH₄ y factores inhibitorios fisiológicos de CH₄ hasta ahora estudiados.

Vía de fermentación de los alimentos, formación de ácidos grasos volátiles y metano

Las condiciones en el rumen deben tener una armonía con los microorganismos y los procesos de fermentación, esta actividad es factible cuando se tienen las siguientes propiedades físico-químicas idóneas en el rumen (Araujo y Vergara, 2007; van Lier y Regueiro, 2008): a) Ecosistema abierto y continuo: Permite la entrada de los sustratos y la salida de los productos (se incluye la proteína microbiana). b) Tiempo de retención: Permite la fermentación de los alimentos y la actividad microbiana [tasas de pasaje (*Kp*)]. c) Medio acuoso idóneo: Permite la actividad de las enzimas extracelulares y un ambiente ruminal anaerobio que es regulado por la concentración molar de los componentes en el rumen (osmolaridad desde 260 hasta 400 mOsm). e) pH entre 5.8 y 7.0 ($\text{pH rumen} = 7.74 + \log (\text{HCO}_3^- / \text{pCO}_2)$). f) La acción amortiguadora: Es compleja, sin embargo, influyen el

número de moles por litro de H⁺ necesarios para causar un cambio en el pH, la presión parcial de CO₂ y la concentración de sales de ácidos grasos de cadenas cortas; todos estos regulados por la producción de saliva. g) Potencial redox: La baja concentración de oxígeno en el rumen [potencial negativo de oxidación (Eh) entre -250 y -450 mV] estimula el crecimiento de algunos microorganismos. h) Temperatura en el rumen de 38 a 42 °C.

Los principales grupos microbianos que habitan en el rumen son anaerobios facultativos y contribuyen directa o indirectamente a la degradación de la materia orgánica de la dieta. 1) Las bacterias tienen la mayor densidad de población [10^{10-11} mL⁻¹ de fluido ruminal (fr)]. 2) Las arqueas (10^{8-9} mL⁻¹ fr), utilizan el CO₂ e H₂, originados por la actividad fibrolítica de bacterias, protozoos y hongos. 3) Los protozoos ciliados (10^6 mL⁻¹ fr), contribuyen hasta con la mitad de la biomasa microbiana ruminal por su tamaño, su defaunación afecta la digestión de la fibra. 4) Los hongos (10^6 mL⁻¹ fr) aportan menos del 8 % a la biomasa total, tienen microtúbulos llamados hidrogenosomas y también sintetizan acetato, formato, lactato y etanol (Ho y Abdullan, 1999; Lourenço *et al.*, 2010; Kumar *et al.*, 2013). La formación de CH₄ es un proceso fisiológico normal que contribuye al correcto funcionamiento fermentativo del rumen, contrarrestando la inhibición de otros microorganismos provocado por la acumulación de H₂ (Kumar *et al.*, 2014).

Los carbohidratos ingeridos por los rumiantes se degradan en monómeros por acción microbiana. Posteriormente, la fermentación del piruvato da como resultado la síntesis de los tres principales ácidos grasos volátiles (AGV) acetato, butirato y propionato así como alcoholes. El proceso inicia con la vía más común, la degradación de la hexosa a través de la glucólisis (vía Embden-Meyerhof-Parnas), produciendo dos piruvatos, ATP (adenosín trifosfato), y el NAD⁺ es reducido a NADH (dinucleótido de nicotinamida y adenina-reducida). Por las condiciones anaerobias en el rumen, el NAD⁺ se reoxida, para mantener la glucólisis posible y continuar con el metabolismo microbiano dependiente del piruvato. La producción de butirato se acopla con la oxidación del NADH y se reduce a acetoacetyl-CoA y crotonyl-CoA. Diferentes microorganismos fermentativos también convierten el piruvato en etanol, lactato o succinato, lo que da como resultado una oxidación directa de NADH. El acetato es el AGV predominante en el rumen, pero la producción de piruvato no está directamente acoplada a la oxidación de NADH. En este caso, NADH se oxida

a través de la producción de H₂, que se inhibe con un nivel elevado en la presión parcial del hidrógeno (pH₂) (Song et al., 2014; Van Lingen et al., 2016). En el Cuadro 1 se describen las reacciones que forman y utilizan los H₂.

El acetato y butirato son nutrientes lipogénicos y son fuente de H₂ disponible, mientras que la formación de propionato es una vía competitiva para utilizar el H₂ en el rumen. Las arqueas metanógenas (ej. *Methanobacterium ruminantium*) también usan el H₂ disponible y lo combinan con el CO₂ formando CH₄ (aunque otras fuentes incluyen sulfato, nitrato y fumarato): 4H₂ + CO₂ → CH₄ + 2H₂O.

Durante este proceso fisiológico se mantiene un nivel bajo de la pH₂, lo que permite la oxidación de NADH en bacterias que no son capaces de acoplar directamente la oxidación de NADH a la reducción de metabolitos. Si el H₂ producido no es usado por los metanógenos, se inhibe la actividad de la hidrogenasa bacteriana y se limita la oxidación de los carbohidratos; hay producción de eta-

Cuadro 1. Reacciones de formación y utilización de dihidrógeno (H₂).

Reacciones que forman H ₂ :	Reacciones que utilizan el H ₂ :
Glucosa → 2 piruvatos + 4 H ₂ (vía Embden-Meyerhof)	Piruvato + 4H → Propionato (C3) + H ₂ O
Piruvato + H ₂ O → acetato (C2) + CO ₂ + 2H	2C2 + 4H → Butirato (C4) + 2H ₂ O
	CO ₂ + 8H → metano (CH ₄) + 2H ₂ O

nol o lactato, los cuales inhiben el crecimiento microbiano idóneo en la digestión de los forrajes. Explicando este proceso con más detalle: *Ruminococcus flavefaciens* y *Ruminococcus albus* son las bacterias más importantes en la degradación de la pared celular en el rumen, sintetizando iones H₂. Estas dos especies forman las enzimas requeridas para hidrolizar la celulosa y hemicelulosa, su contenido de hidrolasa tiene la función de remover los equivalentes H⁺ excesivos, pero estas mismas bacterias pueden auto-inhibirse con su propio contenido de H₂ o la presencia de O₂ (Mosoni et al., 2011; Meier et al., 2016). La Figura 1 esquematiza las vías metabólicas comunes y posibles que pueden suceder en la fisiología del rumen.

La formación y competitividad de moléculas en el rumen pueden ser explicadas por su esteoquímica, basados en la distribución espacial de los átomos que componen las moléculas. En los procesos de fermentación del rumen se puede predecir la reactividad con la variación de la energía libre de Gibbs (ΔG). La fórmula (ΔG=ΔH-TΔS) nos indica la entalpía (ΔH), definida como el contenido energético del sistema, es decir el calor (cedido o ganado) de una sustancia a presión constante, y la entropía (ΔS), la cual mide la parte no utilizable de la energía contenida en un sistema. T es la temperatura que multiplica a la entropía y solamente se expresa en grados Kelvin. Si el valor de ΔG es negativo, es una presión exotérmica porque libera energía, la reacción es espontánea,

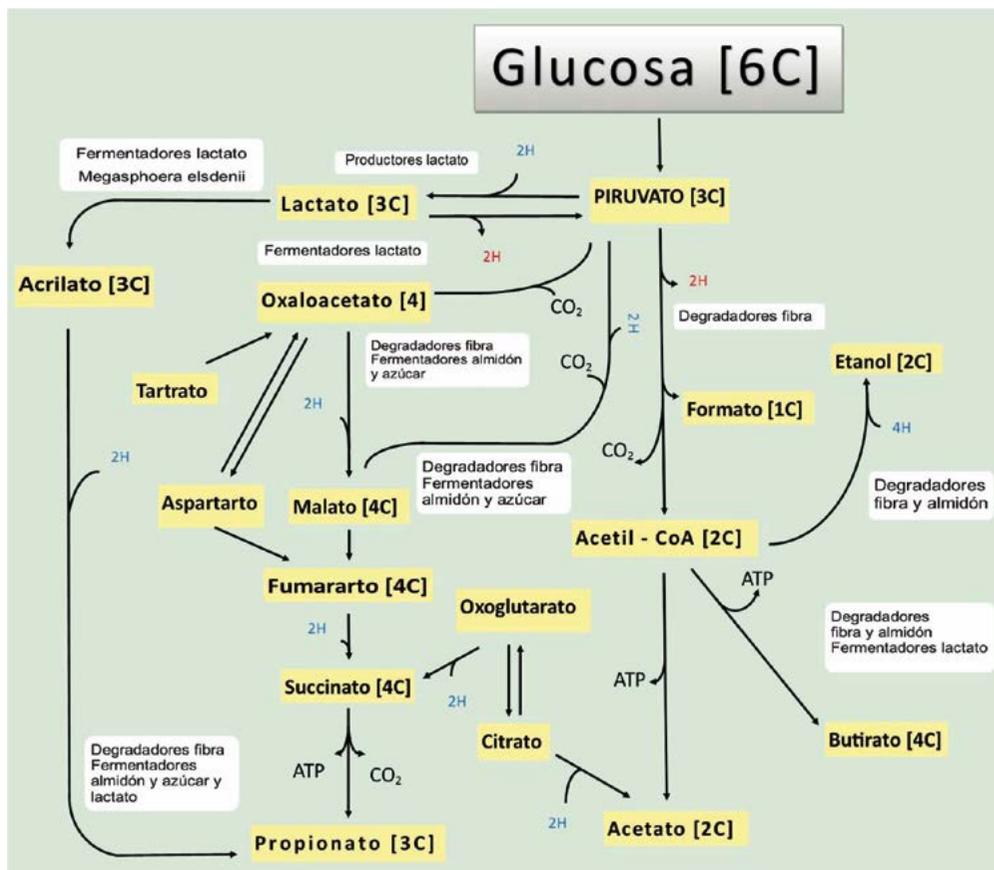


Figura 1. Vías metabólicas en la síntesis de ácidos grasos volátiles en el rumen (Adaptado de Najarra et al., 1997; McAllister y Newbold, 2008).

esto no quiere decir que se forme muy rápido, el significado es que se originan un producto. En este caso los electrones del H_2 y del CO_2 se configuran y forman CH_4 . Por otro lado, si absorbe calor, el valor de ΔG es positivo, la reacción es endotérmica, significando que la reacción no podría suceder. La molécula de CH_4 tiene un $\Delta G = -50.79$ kJ, a temperatura constante de $25^\circ C$ ($298^\circ K$), considerando los valores en la ecuación: $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$: $-50.79 = (-74.85 - 298 \times 170.2)10^{-3}$, y ajustando a temperatura del rumen ($39^\circ C = 311^\circ K$), el valor es de $\Delta G = -49.74$ kJ (Figura 2; valores tomados de Offener y Sauvart, 2006), continua con valor negativo. De manera lógica, la temperatura es un valor que puede modificar el ΔG ; en el rumen es imposible su aumento ascendente, aunque en otros procesos anaeróbicos ambientales se

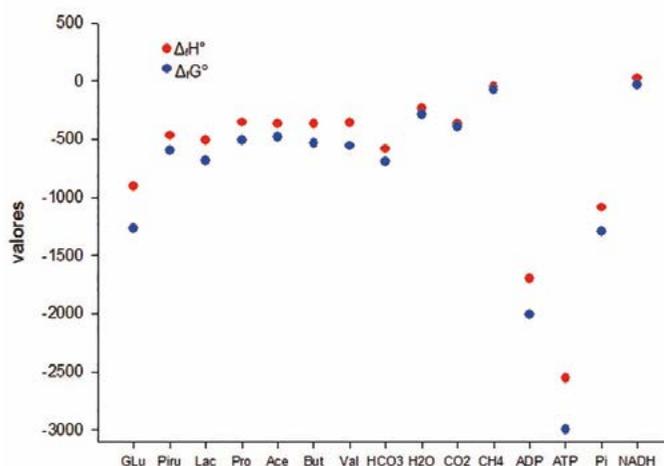


Figura 2. Valores de entalpía (ΔH°) y energía libre de Gibbs ($\Delta_r G^\circ$) en moléculas utilizadas y formadas en la fermentación del rumen (Offener y Sauvart, 2006).

captación de los H_2 .

Clasificación de arqueas metanógenas

Las arqueas (Tercer Reino Archaea, descubiertas en la Universidad de Illinois, EU (1977) por Wolfe R. y Woese C, acuñado el término arcaico por estos investigadores, debido a que son microorganismos que crecen en ausencia de oxígeno y producen CH_4), son un grupo de

puede realizar la manipulación térmica y controlar la formación de CH_4 . El Cuadro 2 muestra el ΔG° (condición estándar) en la fermentación de glucosa, interconversión de los AGV y la oxidación. Durante el proceso de metanogénesis $\Delta G^\circ = -172$ $kJ \cdot mol^{-1}$, es ligeramente menor en la conversión de glucosa a la formación de acético y propionico $\Delta G^\circ = -192$ $kJ \cdot mol^{-1}$, indicando competitividad entre la

Cuadro 2. Valores de la energía libre de Gibbs en procesos fermentativos en el rumen (Van Lingen *et al.*, 2016).

Conversión microbiana	Y_{ATP}	Y_{NADH}	ΔG° $kJ \cdot mol^{-1}$
Fermentación de glucosa			
$C_6H_{12}O_6 + 4H_2O \rightarrow 2Ac^- + 2HCO_3^- + 4H_2 + 4H^+$	4	2	-52
$C_6H_{12}O_6 + 2.67 H_2O^a \rightarrow 0.67Ac^- + 0.67Bu^- + 2HCO_3^- + 3.33H^+ + 2.67H_2$	3.33	0.67	-111
$C_6H_{12}O_6 + 2H_2O^b \rightarrow Bu^- + 2HCO_3^- + 2H_2 + 3H^+$	3	0	-138
$C_6H_{12}O_6 + H_2O^c \rightarrow Ac^- + Pr^- + HCO_3^- + H_2 + 3H^+$	3.67	0	-159
$C_6H_{12}O_6^d \rightarrow 0.67 Ac^- + 1.33 Pr^- + 0.67HCO_3^- + 2.67H^+$	2.67	-0.67	-196
Interconversión de ácidos grasos volátiles			
$Ac^- + HCO_3^- + H^+ + 3H_2 \rightarrow Pr^- + 3H_2O$	0	-2	-113
$Pr^- + 3H_2O \rightarrow Ac^- + HCO_3^- + H^+ + 3H_2$	0.33	2	113
$Bu^- + 2H_2O \rightarrow 2 Ac^- + H^+ + 2H_2$	0.33	2	86
Cofactor de oxidación			
$NADH + H^+ \rightarrow NAD^+ + H_2$	0	ND	-25
$NADH + Fd^{2-}_{RED} + 3H^+ \rightarrow NAD^+ + Fd_{ox} + 2H_2$	0	ND	-102
Metanogénesis			
$HCO_3^- + H^+ + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 3H_2O$	1.5-0.5 ^e	0	-172

^aProducción de butirato, vía ruta kinasa,

^bProducción de butirato vía ruta kinasa o combinación lineal de la reacción a) y $2Ac^- + 2C_8H_{12}O_6 + 2H_2O \rightarrow 3 Bu^- + 4HCO_3^- + 2H_2O + 5H^+$ para producir butirato vía transferasa CoA.

^cProducción de propionato vía succinato

^dProducción de propionato vía lactato

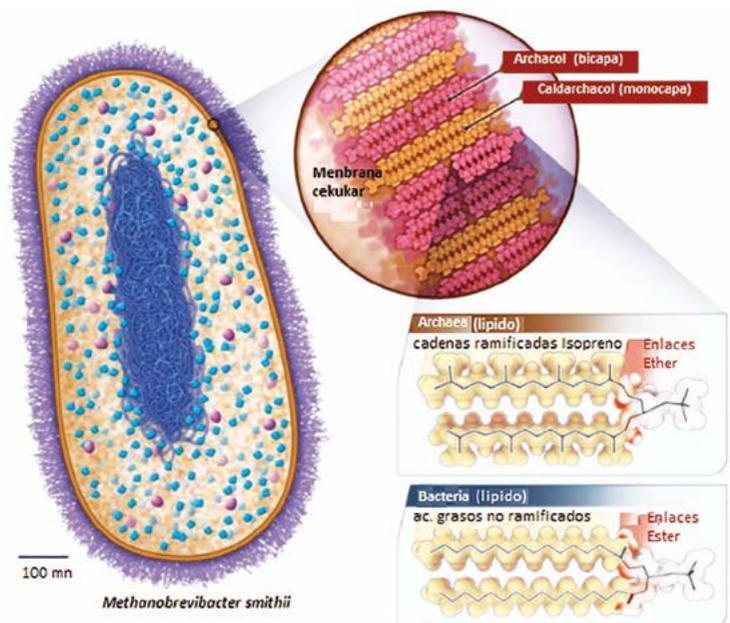
^ePara especies de Arqueas con y sin citocromos.

microorganismos unicelulares, similares a las bacterias (arqueobacterias: término mal empleado) en tamaño y forma, con morfología procariota (sin núcleo y orgánulos membranosos internos) (Figura 3).

Las arqueas metanógenas se clasifican en cinco órdenes: *Methanobacteriales*, *Methanococcales*, *Methanomicrobiales*, *Methanosarcinales* y *Methanopyrales*. La mayoría de las especies son inmóviles, solo los miembros del género *Methanothermus* se desplazan por un flagelo. El orden de las *Methanobacteriales* se divide en dos familias, *Methanobacteriaceae* y *Methanothermaceae*. La familia *Methanobacteriaceae* se integra por géneros mesofílicos: *Methanobacterium*, *Methanobrevibacter* y *Methanosphaera*. En los rumiantes, las arqueas metanógenas oscilan de 108 a 1000 células por gramo de contenido ruminal, predominando los metanógenos hidrogenotrofos. La metanogénesis limita la acetogénesis hidrogenotrofa, disminuyendo la concentración de H₂ por debajo del nivel mínimo requerido para la acetogénesis (Hook et al., 2010; Shin et al., 2004; Wright et al., 2006).

Patra et al. (2017) indican que las arqueas en el rumen representan menos del 3.3 % del rRNA total (incluyendo 16S y 18S). Los metanógenos ruminales aislados han sido los siguientes: *Methanobacterium formicicum*, *Methanobacterium bryantii*, *Methanobrevibacter ruminantium*, *Methanobrevibacter millerae*, *Methanobrevibacter olleyae*, *Methanomicrobium mobile*, *Methanoculleus olentangyi*, *Methanosarcina barkeri*, *Methanobrevibacter boviskoreani* (aislado del rumen del ganado coreano nativo), *Methanobacterium beijingense* (aislada del rumen de la cabra), *Methanoculleus marisnigri* (aislado del rumen del ganado indio mestizo), *Methanoculleus bourgensis* (aislado del rumen del ganado Holstein) y *Methanosarcina mazei* (aislado del rumen de ganado coreano Hanwoo). Las secuencias del gen 16S rRNA de los metanógenos cultivados representan el 0.7 % de las secuencias en arqueas totales de origen ruminal. La mayoría de los aislamientos son miembros de la familia *Methanobacteriaceae*. Pero las especies de *Methanobrevibacter*, incluyendo *M. ruminantium*, *M. thaueri*, y *M. smithii*, son los más predominantes (identificadas con el gen 16S rRNA). Sin embargo, también hay diversidad de otros metanógenos ruminales como *Methanosphaeras*, *Methanosarcinales* y *Methanococcales* (Jarvis et al., 2000).

Figura 3. *Methanobrevibacter smithii*. La pared celular (violeta) está compuesta de pseudomureína (y no de mureína como en las bacterias) hace que las arqueas sean resistentes a lisozima y antibióticos. La membrana celular (ocre) se compone de un lípido bicapa o monocapa con componentes de isopreno unidas a glicerol por enlaces de éter. La bicapa lipídica de bacterias es una columna de ácidos grasos unida a glicerol por enlace éster (Gottlieb et al., 2015).



Dependiendo del sustrato utilizado, los metanógenos se clasifican en tres grupos, según Liu y Whitman (2008):

1. Metanógenos hidrogenotrofos: Son los más comunes en el rumen, utilizan los iones H₂ y algunos de ellos usan formato para reducir el CO₂ (Thauer et al., 2008). $CO_2 + 8H \rightarrow CH_4 + 2H_2O$. Los acetógenos son hidrogenotrofos, reducen el CO₂ para formar acetato ($4H_2 + 2CO_2 \rightarrow CH_3COOH + 2H_2O$) mediante la vía Wood-Ljungdahl (acetogénesis reductiva). Las bacterias acetogénicas son las principales que utilizan H₂ para reducir el CO₂ a acetato. La acetogénesis, en lugar de la metanogénesis del H₂, es favorable, ya que da como resultado el acetato, que es absorbido por el animal y utilizado como energía (Fonty et al., 2007) (Cuadro 3).
2. Metanógenos metilótrofos: Utilizan compuestos metílicos a partir de metanol, metilaminas

Cuadro 3. Reacciones químicas del acetato y valores de la energía libre de Gibbs en algunos metanógenos.

Acetato	ΔG (kJ mol ⁻¹ CH ₄)	Tipo de metanógenos
$4 \text{ H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2 \text{ H}_2\text{O}$	-135	La mayoría de los metanógenos
$4 \text{ HCOOH} \rightarrow \text{CH}_4 + 3 \text{ CO}_2 + 2 \text{ H}_2\text{O}$	-130	Varias metanógenas Hydrogenotrofas
$\text{CO}_2 + 4 \text{ isopropanol} \rightarrow \text{CH}_4 + 4 \text{ acetona} + 2 \text{ H}_2\text{O}$	-37	Algunas metanógenas hydrogenotrofas
$\text{CO}_2 + 4 \text{ isopropanol} \rightarrow \text{CH}_4 + 4 \text{ acetona} + 2 \text{ H}_2$	-196	<i>Methanothermobacter</i> y <i>methanosarcina</i>

o sulfuros de metilo y los oxidan parcialmente al CO₂ para producir electrones que pueden usarse para reducir aún más los grupos metilo a CH₄ (Liu y Whitman 2008; Poulsen *et al.*, 2013) (Cuadro 4).

3. Metanógenos acetotrofos: Utilizan el grupo metilo del acetato para la disimilación y producción de CH₄ y CO₂. Los metanógenos acetotrofos son archaeas anaerobios facultativos que convierten el acetato en CH₄ y CO₂. La actividad y el rendimiento de los metanógenos acetotrofos son de importancia en la conversión anaeróbica de acetato (Cuadro 5).

La combinación de H₂ + CO₂ es la vía más común de los metanógenos en la metanogénesis. El CO₂ se reduce sucesivamente a CH₄ por acción del H₂ como donador primario de electrones a través de formilo, metilo, metileno y metilo-intermedio. La reducción del resto de carbono implica varios pasos catalizados por un número de cofactores y enzimas (Figura 4; con base en Qiao *et al.*, 2014).

Importancia del ion hidrógeno (H⁺) y dihidrógeno (H₂) en la síntesis de metano

La cinética de distribución y transferencia del hidrógeno en las moléculas del rumen no ha sido completamente

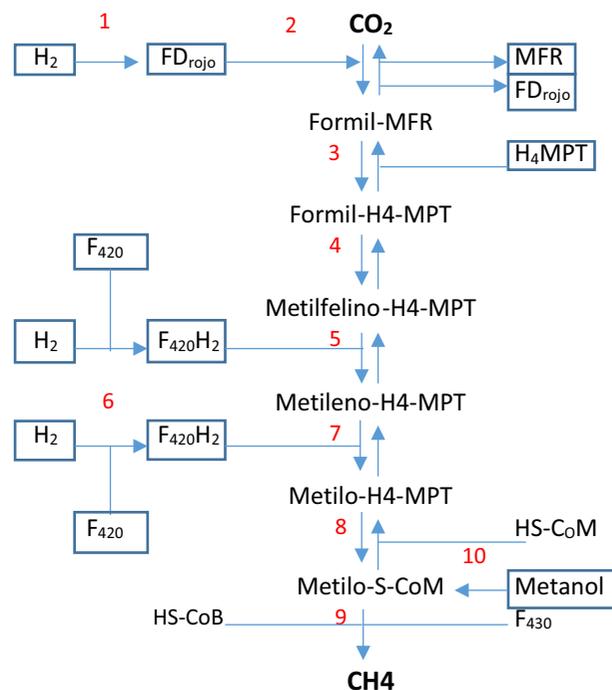


Figura 4. Vía de metanogénesis de H₂ + CO₂ y metanol. F₄₂₀H₂: Reducido de coenzima F₄₂₀; FDrojo: Reducido de ferredoxina; MFR: Metanofurano; H₄MPT: Tetrahidromethanopterin; HS-CoM; Coenzima M; HS-CoB: Coenzima B. Enzimas: 1. Ech hidrogenasa; 2. formilmetanofurano deshidrogenasa; 3. formil-MFR:H₄MPT-formiltransferasa; 4. metil-H₄MPT-ciclohidrolasa; 5. metileno-H₄MPT-deshidrogenasa; 6. F₄₂₀ hidrogenasa-reducida; 7. metileno-H₄MPT reductasa; 8. metil-H₄MPT:HS-CoM-metiltransferasa; 9. metil-CoM reductasa; 10. metanol: coenzima metiltransferasa.

Cuadro 4. Reacciones químicas de compuestos metilados y valores de la energía libre de Gibbs en algunos metanógenos.

Compuestos metilados Cl	ΔG (kJ mol ⁻¹ CH ₄)	Tipo de metanógeno
$4 \text{ CH}_3\text{OH} \rightarrow 3 \text{ CH}_4 + \text{CO}_2 + 2 \text{ H}_2\text{O}$	-105	<i>Methanosarcina</i> y otros metilótrofos
$\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2 \text{ H}_2\text{O}$	-113	<i>Methanomicrococcus blatticola</i> , <i>Methanosphaera</i>
$2(\text{CH}_3)_2\text{S} + 2 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 3 \text{ CH}_4 + \text{CO}_2 + 2 \text{ H}_2\text{S}$	-49	<i>Methanosarcina</i> y otros metilótrofos
$4(\text{CH}_3)_2\text{NH}_2 + 2 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 3 \text{ CH}_4 + \text{CO}_2 + 4 \text{ NH}_3$	-75	Algunos metilótrofos
$2(\text{CH}_3)_2\text{NH} + 2 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 3 \text{ CH}_4 + \text{CO}_2 + 2 \text{ NH}_3$	-73	
$4(\text{CH}_3)_3\text{N} + 6 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 9 \text{ CH}_4 + 3 \text{ CO}_2 + 4 \text{ NH}_3$		
$4 \text{ CH}_3\text{NH}_3\text{Cl} + 2 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 3 \text{ CH}_4 + \text{CO}_2 + 4 \text{ NH}_4\text{Cl}$		

Cuadro 5. Reacción química y energía libre de Gibbs en metanógenos acetotrofos.

Acetato	ΔG (kJ mol ⁻¹ CH ₄)	Tipo de metanógeno
$\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$	-33	<i>Methanosarcina</i> y <i>Methanosaeta</i>

elucidada y presenta puntos oscuros en sus vías metabólicas. En este apartado trataremos de explicar su importancia fisiológica en la formación del CH_4 . De inicio se sabe que la actividad del hidrógeno es esencial durante la fermentación ruminal y la presión parcial del mismo hidrógeno (fracción molar del hidrógeno diatómico, P_{H_2}) es determinante en la metanogénesis del rumen. Sin embargo, el balance de ion H^+ y la concentración del gas H_2 disuelto, determinan el potencial redox en el rumen. Más del 90 % de los átomos de hidrógeno en el rumen se encuentran en el agua (H^+ %: Agua 91, alimento 6, microbios 2, $\text{CH}_4 < 0.1$, $\text{H}_2 < 0.1$) (Hegarty y Gerges, 1999).

La transferencia de protones se da durante la fermentación microbiana, de modo que una proporción sustancial de los átomos H^+ (derivados del agua) son reducidos a H_2 para formar CH_4 , ésta última forma pasa a ser un gas no polar y poco soluble en el agua, la P_{H_2} (considerando la velocidad con la cual se disuelve el H_2) es determinante en el proceso de la metanogénesis.

Teóricamente, el volumen de CH_4 formado en el rumen de un bovino es de 200 a 400 L por día (Okine *et al.*, 1989) el valor corresponde a la utilización de 800 a 1600 L de H_2 , la relación es de 4 moles de H_2 por mol de CH_4 producido, a un gasto de calor de combustión de $0.211 \text{ Mcal mol}^{-1}$. Paralelamente, por cada 65 L de CH_4 se requiere el uso de 152 L de CO_2 (Baldwin y Allison 1983; Baldwin, 2000). La importancia de cuantificar el H_2 inició con los estudios de Hungate en los años 60s, quien propuso que los organismos que utilizan el H_2 cambian el flujo de electrones y modifican los productos finales de la fermentación. En condiciones normales las dietas con forraje contienen una concentración desde 0.4 hasta 3.4 M H_2 disuelto, mientras las dietas con grano, la concentración de H_2 es en promedio de 3.3 M H_2 disuelto (rango = 0.2-28 M) (Hungate 1970; Barry *et al.*, 1977). También se ha medido el H_2 como gas en el aliento de ovejas alimentadas con ensilaje, reportando cantidades de 2 a 15 ppm (Takenaka *et al.*, 2008), pero capturar el gas exhalado se contamina con el H_2 ambiental ($\sim 0.5 \text{ ppm}$). Un estudio realizado por Smolenski

y Robinson (1988) utilizaron un detector ultrasensible con vapor de mercurio para detectar H_2 en sedimentos terrestres; este fue adaptado con un tubo de teflón directamente a los compartimentos del rumen, a través de las cánulas ruminales, realizándose la cuantificación de H_2 cada 3h durante 8 meses. Algunos de los resultados se muestran en la Figura 5; la concentración de H_2 (línea marrón) incrementó inmediatamente, por unos minutos con la ingestión de cada comida (línea verde), luego se mantuvo en cantidades bajas después de las ingestiones.

Los metanógenos usan inmediatamente el H_2 , éste no se acumula en el rumen. De hecho, trazas de H_2 en el rumen pueden inhibir la actividad de hidrogenasa (ya se explicó anteriormente) y limitan la oxidación de los azúcares, cuando no hay rutas alternativas para la eliminación de H_2 . La inhibición metanógena también se puede dar por el bloqueo del monóxido de carbono, alterando la digestibilidad de la celulosa y hemicelulosa hasta un 40 % (Russell y Wilson, 1996). La baja P_{H_2} (10^{-4} atm ; 0,01 kPa) favorece las vías metabólicas de las bacterias celulolíticas y la metanogénesis ruminal, a través de la transferencia de H_2 . Hay mayor contenido de NADH^+ por glucólisis y oxidación del

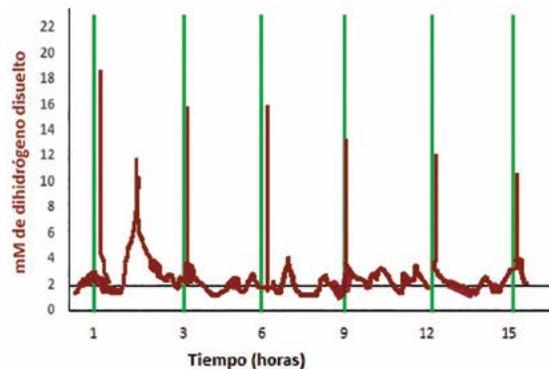


Figura 5. Concentración de dihidrógeno disuelto en el retículo de bovinos alimentados con ocho comidas al día (Smolenski y Robinson, 1988).

gliceraldehído-3-fosfato. Se modula la formación de los AGV, principalmente la formación de propionato se describe como una vía de utilización de H_2 (pero no estrictamente ocurre), aunque la formación de propionato está fuertemente asociada con la disminución de CH_4 (Janssen, 2010).

Los metanógenos ruminales utilizan el H_2 y reducen el CO_2 a CH_4 en secuencias acopladas a la síntesis de ATP, donde el CO_2 es la fuente de carbono y el H_2 es el principal donador de electrones (Ramírez *et al.*, 2014). El aumento de la P_{H_2} reduce la desaminación de aminoácidos. Cultivos *in vitro* de *Ruminococcus albus* forman acetato, etanol, H_2 y CO_2 , pero cuando se co-cultivaron con un metanógeno, el etanol bajó, mientras que la producción de H_2 , acetato y ATP aumentaron; este tipo de relación con simbiosis genera la transferencia de H_2 entre especies (Fonty 1996; Kumar *et al.*, 2014).

Por otro lado, las tasas de pasaje de la ingesta (sólidos y líquidos) son esenciales para mantener la concentración y la P_{H_2} . Varios estudios concluyen que el aumento en la velocidad de paso ocasiona disminución en la producción de CH_4 y mayor formación de propionato por unidad de alimento digerido (Okine *et al.*, 1989; Pinares-Patiño *et al.*, 2003). La cantidad de protozoarios en el rumen disminuye, cuando las tasas de pasaje son altas, mientras los microbios celulolíticos producen acetato e H_2 (Franzolin y Dehority, 1996). Por el contrario, los microbios amilolíticos producen menos H_2 y más propionato. La actividad ideal de los metanógenos se da con el rango de pH de 6.0 a 7.0, y con límites en pH de 5.5 a 6.5 (Rea *et al.*, 2007). Dado que la disminución del pH se asocia con una mayor tasa de pasaje, posiblemente los metanógenos requieran una concentración de H_2 mayor para su sobrevivencia. La tasa de crecimiento en los metanógenos se da con su crecimiento máximo posible (*max*) en condiciones fisicoquímicas predominantes a una concentración teórica infinita de la fuente de energía y su concentración (H_2), describiéndose con siguiente ecuación:

$$\mu = \mu_{max} \times s / (K_s + s)$$

donde: K_s es la constante de Monod, que describe la concentración de la fuente de energía a la cual es $\mu = 0.5 \times \mu_{max}$ para que los metanógenos tengan las condiciones fisicoquímicas predominantes.

Lo que indica que en la relación Monod, se requiere una concentración de H_2 que permita la tasa de crecimiento. Las concentraciones de H_2 en el rumen se controlan por la cinética de crecimiento del metanógeno, las vías de fermentación y la estereoquímica de los productos formados (Figura 6).

Rutas metabólicas para inhibir la formación de metano

Una gran variedad de compuestos naturales y sintéticos han sido probados, la mayoría muestra una eficaz respuesta *in vitro* o en modelos mesocosmos, pero *in vivo* hay inconsistencias en su eficacia. Las variaciones en el

microbioma del rumen, la cinética de fermentación, respuesta anti-metanógena y la dieta son factores que influyen en la respuesta (Patra *et al.*, 2017). Por la extensión limitada en este capítulo, es difícil describir químicamente la acción de las vías inhibitorias de metano. Estas se resumen en la Figura 7.

Los ionóforos inhiben bacterias gram negativas como clostridios y *Ruminococcus* que forman acetato e H_2 . También inhiben bacterias gram negativas que forman formato e H_2 (Chalupa, 1988). Particularmente, la monensina disminuye la formación de CH_4 en más de 10 % (McGinn *et al.*, 2004). Las bacteriocinas como Bovicin HC5, Nisin y bacteriocina producida por *Streptococcus* spp. suprimen el CH_4 en 50 % *in vitro* (Lee *et al.*, 2002; Houlihan y Russell, 2006). La defaunación ruminal de los protozoa es otra alternativa que se ha usado para disminuir la metanogénesis, con base a la revisión realizada no se sugiere su uso, debido a las limitaciones en la fermentación ruminal que se ocasionan; el uso y tipo de aceite en la dieta para inducir la biohidrogenación puede generar interacciones eficientes entre metanógenos, bacterias y protozoa en las emisiones de CH_4 (Wang *et al.*, 2017). Los compuestos con un potencial *redox* más alto que el CO_2 como malato, acrilato, oxaloacetato y fumarato pueden redirigir termodinámicamente los equivalentes en la fermentación ruminal y formar menos CH_4 y más propionato o ser usados en el anabolismo para la síntesis de aminoácidos u otras moléculas (Foley *et al.*, 2009).

Se han aplicado una variedad de productos químicos para inhibir la metanogénesis en el ganado y reducir las emisiones de CH_4 , redirigiendo la energía hacia la eficiencia de la alimentación y la producción (Beauchemin *et al.*, 2009). Los inhibidores metanógenos más comúnmente utilizados son el 2-bromoetanosulfonato (BES), éste es un análogo de la coenzima M, su función es inhibir el crecimiento en alquenos alifáticos (Patra *et al.*, 2017). El ácido propinóico (AP), un análogo de propionato insaturado con un enlace triple de carbono que también es un inhibidor eficaz de la metanogénesis (Ungerfeld *et*

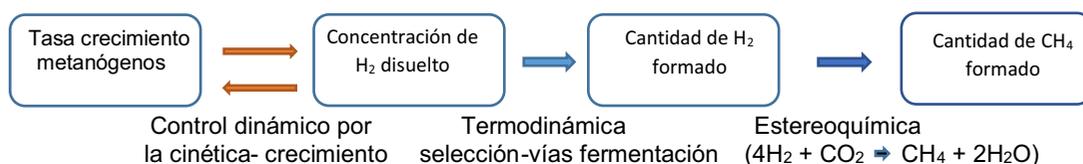


Figura 6. Modelo con combinaciones cinéticas, termodinámica y estereoquímica de dihidrógeno y metano (Janssen, 2010).

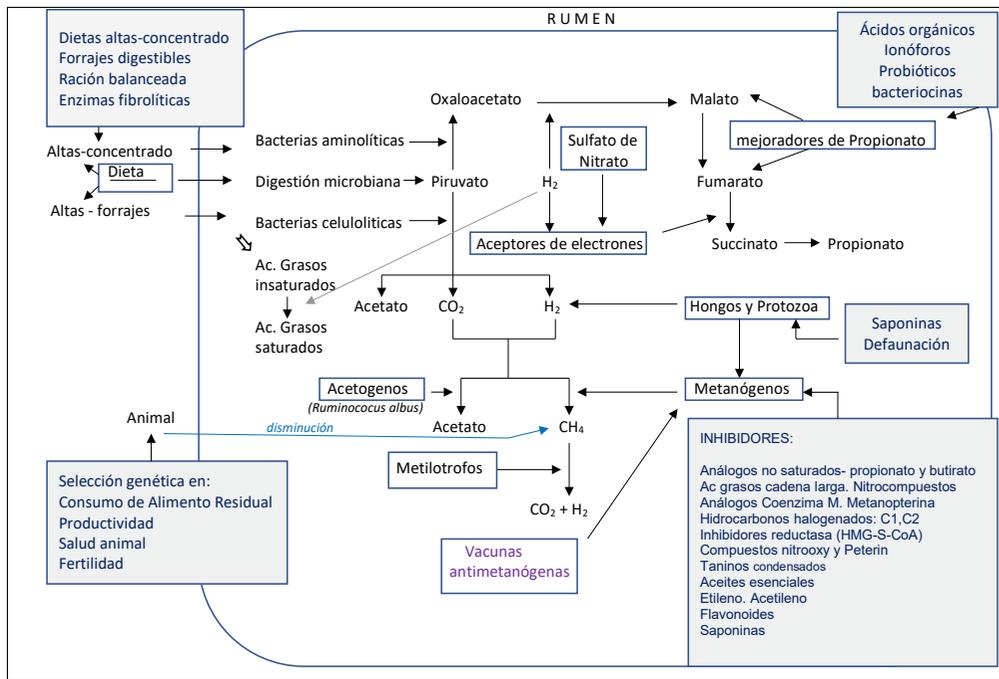


Figura 7. Vías metabólicas en la formación e inhibición de metano en rumen (Adaptado de Broucek, 2014; Ramírez-Bribiesca, 2014; Ramírez et al., 2014; Patra, 2016; Patra et al., 2017).

al., 2004; Zhou et al., 2010). El ácido propinóico y 2-butinoato de etilo disminuyen de 24 a 79 % el CH₄, (Ungerfeld et al., 2004). Aunque estudios *in vivo* demuestran que la inhibición de metanógenos afecta la relación acetato:propionato, disminuyendo la formación de los AGV con tendencia a formar más acetato (Patra y Yu, 2012). Los nitrocompuestos anti-metanógenos como el 3-nitropropionato, 2-nitropropanol, 2-nitroethanol y nitroetano disminuyen el CH₄ de 57 a 98 % (Anderson et al., 2008). La alimentación con 3-nitrooxlpropanol a dosis de 2.5 g por día por vaca disminuyó en 60 % por kg de materia seca sin afectar el consumo, la digestibilidad y la concentración de AGV y mejorando la población protozoa en rumen (Romero-Pérez et al., 2015).

Molecularmente, los inhibidores metanógenos en las comunidades bacterianas y arqueas se basan en bibliotecas de clones o polimorfismo de longitud de fragmentos de

similitud de 95 % con las secuencias de *Methanobrevibacter gottschalkii*, *Methanobrevibacter thaueri*, *Methanobrevibacter smithii* y *Methanosphaera stadtmanae*, lo que indica que estas especies pueden ser metanógenos ruminales comunes y una inhibición puede pensarse con la vía de clonación. En el caso de las vacunas metanógenas, éstas se han preparado con células completas de siete metanógenos aislados en Australia, disminuyendo en un 8 % la emisión de CH₄ (Wright et al., 2004). Se sugiere que las vacunas se elaboren con antígenos-proteína de la membrana celular, aunque la duda es, si los anticuerpos que circulan en sangre pueden inhibir los metanógenos que habitan el rumen.

Al parecer, las combinaciones de compuestos anti-metanógenos con modos de acción complementarios son un enfoque prometedor para lograr la mitigación sin efectos adversos en la ingesta de alimento y la fermentación ruminal. Algunas de las sustancias anti-metanógenas sintéticas, puede ser difícil su aprobación regulatoria por las autoridades de salud. Los rumiantes en pastoreo extensivo contribuyen en mayor proporción a las emisiones de CH₄ entérico a nivel mundial, por lo tanto, el desafío es disminuir el problema en este sistema de producción.

Vías de absorción y excreción del metano

Las técnicas para medir las emisiones de CH₄ en los rumiantes se centran en la captura y medición del gas que se libera de los eructos. Aunque también se reporta exhalación de CH₄; la eliminación por la vía respiratoria se debe a la absorción del gas por la vía intestinal, paso al sistema porta-sanguíneo y su salida paralela entre el intercambio gaseoso del CO₂ a nivel sanguíneo y alveolar. La otra vía es investigar si el CH₄ se puede absorber por la pared del rumen, como algunos autores lo mencionan. Este apartado trata de dilucidar

restricción terminal dirigida al gen 16S rRNA y el gen mcrA (Wright et al., 2006; Zhou et al., 2010). La mayoría de los metanógenos viven libremente en el fluido del rumen o adheridos a las partículas del alimento. En co-cultivos, un metanógeno hidrogenotrofo cambia la fermentación hacia acetato, aumentando el rendimiento de ATP y el crecimiento de bacterias celulolíticas. La diversidad en los metanógenos ruminales son bajas, hay un entorno selectivo para los metanógenos ruminales. Los clones secuenciales del rRNA 16S ruminal tienen una

los mecanismos fisiológicos de la eliminación de CH_4 en los rumiantes.

Murray *et al.* (1976) mencionan valores de 85 a 90 % del CH_4 proviene de la fermentación entérica. El 95 % de CH_4 en el rumen se excreta por eructos, el 89 % del CH_4 producido se exhala y el 1 % se elimina por el ano. El balance calculado con ovejas canuladas se presenta en la Figura 8.

La mucosa del colon tiene uniones estrechas entre las células epiteliales, esta estructura permite la absorción de iones sodio y cloro, creando un gradiente osmótico que favorece la absorción del agua; el CH_4 y otros gases se benefician con esta actividad y atraviesan la mucosa del colon, para ingresar al torrente sanguíneo por sistema porta. El movimiento se da por difusión, con un gradiente de presión parcial máxima de 50 mm Hg para el CO_2 y CH_4 , pero debido a la baja solubilidad del CH_4 , la absorción es lenta. La producción de CO_2 , H_2 y CH_4 en el colon hace que la $p\text{N}_2$ sea menor en la luz intestinal que en la sangre, y la baja $p\text{O}_2$ en el colon favoreciendo las proliferaciones de microorganismos anaerobios, los cuales conforman el 99 % de la flora en colon. Estudios realizados en humanos indican que una parte de H_2 y CH_4 siguen la ruta de absorción y excreción mencionada (~15-25 %), la otra proporción de estos gases se eliminan principalmente por las flatulencias. La presencia de CH_4 en sangre humana es indicativo de problema en el tránsito intestinal, síndrome de intestino irritable de tipo obstipación (de-Lacy *et al.*, 2013), la concentración de 0.33 M CH_4 en sangre por una intoxicación externa causa 50 % de hemólisis (Batliwala *et al.*, 1995). En clínica humana, la excreción pulmonar de CH_4 se utiliza como un indi-

cador de la producción CH_4 en el colon. En los rumiantes, el CH_4 post-gástrico es eliminado por vía respiratoria como ya se mencionó. Sin embargo, Dougherty *et al.* (1967) supusieron que una cantidad de CH_4 formado en el rumen alcanza la circulación sanguínea y se elimina por los pulmones. Si bien se conocen los mecanismos fisiológicos de transformación y absorción en rumen del CO_2 y NH_4 , se pensaría un mecanismo similar para el CH_4 , pero no hay reportes de algunas pruebas fisiológicas que lo describa y lo replique. El CH_4 es un gas ligero, junto con el CO_2 se concentra en las regiones superiores del rumen, no se sabe cuánto del gas se puede mezclar en la digesta, aunque su solubilidad es de aproximadamente 1,5 mM CH_4 a presión atmosférica (Batliwala *et al.*, 1995). Como es sabido, la proporción porcentual de los gases formados en el rumen, son aproximadamente: CO_2 , 55; CH_4 , 29; H_2 , 0.16; O_2 , 2; y N_2 , 12. El sistema bicarbonato del rumen es un sistema de amortiguamiento donde los protones reaccionan con HCO_3^- para formar H_2O y CO_2 ($\text{H}^+ + \text{HCO}_3^- \leftrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$). La concentración de HCO_3^- está modulada por el pH y la $p\text{CO}_2$ (36.7 a 66.5 kPa), manteniéndose un equilibrio constante con la eliminación por eructo y la absorción de CO_2 en el rumen. En el caso de amoníaco, debido al alto valor de pK_a (9.2), el NH_3 se une inmediatamente a un H^+ en cantidades equimolares y forma NH_4^+ en el contenido ruminal; posteriormente, en el paso de NH_4^+ a la sangre, se elimina un protón, facilitando la expresión de los canales de K^+ y la eficiencia adecuada de la bomba Na^+/K^+ -ATPasa ruminal para facilitar el transporte. El paso de los AGV disminuye el gradiente eléctrico, des-polarizan la membrana basolateral y facilita el paso de NH_4^+ (Aschenbach *et al.*, 2011). Aparentemente el transporte de CH_4 por la pared del rumen puede darse por

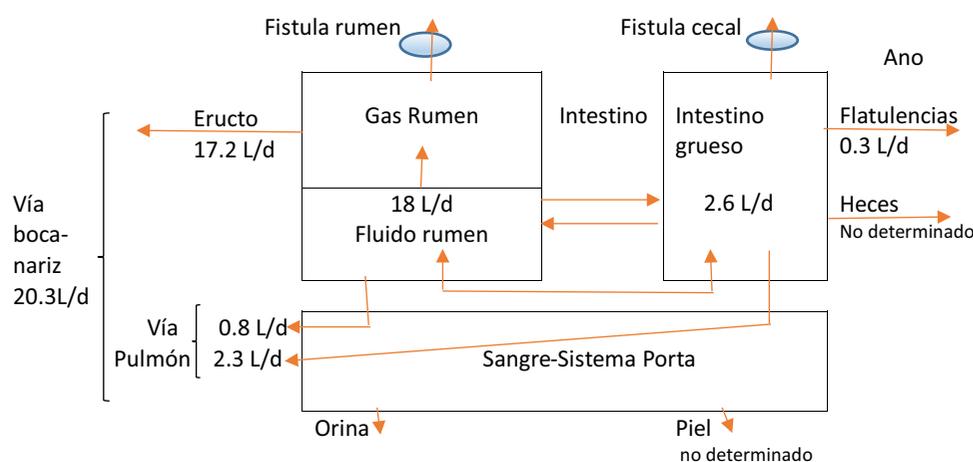


Figura 8. Modelo de producción y movimiento de metano litros por día (L d^{-1}) en ovejas alimentadas con paja de alfalfa (Murray *et al.*, 1976).

diferencias de presión entre los gases del rumen en la región superior y la sangre. Un planteamiento experimental para evaluar el paso de CH_4 hacia la circulación sanguínea se puede plantear con un estudio en tejidos espláncnicos, donde se usen catéteres en la vena derecha ruminal, mesentérica, hepática, porta y arterias hepática y carótida, utilizando ácido paraaminohipúrico como marcador para medir los balances de CH_4 en los flujos (flow y flux) sanguíneos.

CONCLUSIÓN

El concepto de disminuir las emisiones de CH₄ en la ganadería, cada vez es más relevante. Para poderlo mitigar, es necesario conocer las rutas fisiológicas en su formación, su distribución en el organismo y su liberación al ambiente por el animal. Hasta ahora la identificación de las arqueas metanógenas, la captura y competitividad fisiológica de los dihidrógenos, son el gran reto en la investigación. Con las publicaciones actuales, es posible concluir, que no se puede eliminar totalmente la formación de metano en el rumiante; fisiológicamente es un mal necesario, donde se debe conocer el punto de equilibrio entre la cantidad de metano entérico formado, la salud del animal y la productividad.

LITERATURA CITADA

- Anderson R.C., Krueger N.A., Stanton T.B., Callaway T.R., Edrington T.S., Harvey R.B. 2008. Effects of select nitrocompounds on *in vitro* ruminal fermentation during conditions of limiting or excess added reductant. *Bioresource Technology* 99: 8655-8661.
- Araujo F.O., Vergara L., López J. 2007. Propiedades físicas y químicas del rumen. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 15(Supl. 1): 133-140.
- Aschenbach J.R., Penner G.B., Stumpff F., Gäbel G. 2011. Ruminant nutrition symposium: Role of fermentation acid absorption in the regulation of ruminal pH. *Journal of Animal Science* 89: 1092-1107.
- Baldwin R.L. 2000. Introduction: History and Future of Modelling Nutrient Utilization in Farm Animals. *In: McNamara J.P., France J., Beever E.E. (eds.). Modelling nutrient utilization in farm animals*. CABI Publishing. pp. 1-9.
- Baldwin R.L., Allison M.J. 1983. Rumen metabolism. *Journal of Animal Science* 57: 461-477.
- Barry T.N., Thompson A., Armstrong D.G. 1977. Rumen fermentation studies on two contrasting diets. 1. Some characteristics of the *in vivo* fermentation with special reference to the composition of the gas phase, oxidation/reduction state and volatile fatty acid proportions. *Journal of Agricultural Science* 89: 183-195.
- Battliwala H., Somasundaram T., Uzgiris E.E., Makowski L. 1995. Methane-induced hemolysis of human erythrocytes. *Biochemical Journal* 307: 433-438.
- Beauchemin K.A., McGinn S.M., Petit H.B. 2007. Methane abatement strategies for cattle: lipid supplementation of diets. *Canadian Journal of Animal Science* 87: 431-440.
- Beauchemin K.A., McAllister T.A., McGinn S.M. 2009. Dietary mitigation of enteric methane from cattle. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* 4: 1-18.
- Broucek J. 2014. Production of methane emissions from ruminant husbandry: A review. *Journal of Environmental Protection* 5: 1482-1493.
- Chalupa W. 1988. Manipulation of rumen fermentation. *In: Haresign W., Cole D.J.A. (eds.). Recent developments in ruminant nutrition – 2: Butterworth-Heinemann: London. pp. 1-18.*
- de-Lacy C., Ledochowski M., Ratcliffe N.M. 2013. The importance of methane breath testing: a review. *Journal of Breath Research* 7: 024001.
- Dougherty R.W., O'toole J., Milton N.D., Allison J. 1967. Oxidation of intra-arterially administered carbon14-labelled methane in sheep. *PSEBM* 124: 1155-1157.
- Foley P.A., Kenny D.A., Callan J.J., Boland T.M., O'Mara F.P. 2009. Effect of DL-malic acid supplementation on feed intake, methane emission, and rumen fermentation in beef cattle. *Journal of Animal Science* 87: 1048-1057.
- Fonty B.M. 1996. Ruminal methanogenesis and its alternatives. *Annales de Zootechnie, INRA/EDP Sciences* 45(Suppl1): 313-138.
- Fonty G., Joblin K.N., Chavarot M., Roux R., Michallon F. 2007. Methanogen-free lambs: establishment and development of ruminal hydrogenotrophs. *Applied and Environment of Microbiology* 73: 6391-6403.
- Franzolin R., Dehority B.A. 1996. Effect of prolonged high-concentrate feeding on ruminal protozoa concentrations. *Journal of Animal Science* 74: 2803-2809.
- Gottlieb K., Wachter V., Sliman J., Pimentel M. 2015. Review article: inhibition of methanogenic archaea by statins as a targeted management strategy for constipation and related disorders. *Alimentary Pharmacology and Therapeutics* 43: 197-212.
- Hegarty C., Gerdes R. 1999. Hydrogen production and transfer in the rumen. *Recent Advances in Animal Nutrition in Australia* 12: 37-44.
- Ho Y.W., Abdullah N. 1999. The role of rumen fungi in fibre digestion. *Review. Asian-Australian Journal of Animal Science* 12: 104-112.
- Hook S.E., André-Denis G., Brian W., McBride W. 2010. Methanogens: Methane Producers of the Rumen and Mitigation Strategies. *Archaea* 2010: 945785.
- Houlihan A.J., Russell J.B. 2006. Factors affecting the activity of bovicin HC5, a bacteriocin from *Streptococcus bovis* HC5: release, stability and binding to target bacteria. *Journal Applied of Microbiology* 100: 168-174.
- Hungate R.E. 1970. Interrelationships in the rumen microbiota. *In: Phillipson A.T. (ed.). Physiology of Digestion and Metabolism in the Ruminant*. Oriel Press Ltd, England. pp. 292-305.
- Janssen P.H. 2010. Influence of hydrogen on rumen methane formation and fermentation balances through microbial growth kinetics and fermentation thermodynamics. *Animal Feed Science and Technology* 160: 1-22.
- Jarvis G.N., Strömpl C., Burgess D.M., Skillman L.C., Moore E.R.B., Joblin K.N. 2000. Isolation and identification of ruminal methanogens from grazing cattle. *Current Microbiology* 40: 327-332.
- Kumar S., Choudhury P.K., Carro M.D., Griffith G.W., Dagar S.S., Puniya M., Calabro S., Ravella S.R., Dhewa T., Upadhyay R.C., Sirohi S.K., Kundu S.S., Wanapat M., Puniya A.K. 2014. New aspects and strategies for methane mitigation from ruminants. *Applied of Microbiology and Biotechnology* 98: 31-44.
- Kumar S., Dagar S.S., Puniya A.K., Upadhyay R.C. 2013. Changes in methane emission, rumen fermentation in response to diet and microbial interactions. *Research Veterinary Science* 94: 263-268.
- Lee S.S., Hsu J.-T., Mantovani H.C., Russell J.B. 2002. The effect of bovicin HC5, a bacteriocin from *Streptococcus bovis* HC5, on ruminal methane production *in vitro*. *FEMS Microbiology Letters* 217: 51-55.
- Liu Y., Whitman W. 2008. Metabolic, Phylogenetic, and Ecological Diversity of the Methanogenic Archaea. *Ann. N.Y. Academic Science* 1125: 171-189.

- Lourenço M., Ramos-Morales E., Wallace R.J. 2010. The role of microbes in rumen lipolysis and biohydrogenation and their manipulation. *Animal* 4: 1008-1023.
- McAllister T.A., Newbold C.J. 2008. Redirecting rumen fermentation to reduce methanogenesis. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48: 7-13.
- McGinn M., Beauchemin K.A., Coates T., Colombatto D. 2004. Methane emissions from beef cattle: effects of monensin, sunflower oil, enzymes, yeast, and fumaric acid. *Journal of Animal Science* 82: 3346-3356.
- Meier R.R., Kwon I.H., Cann I.K., Mackie R.I. 2016. Interspecies Hydrogen Transfer and Its Effects on Global Transcript Abundance in *Ruminococcus albus*, a Predominant Fiber-Degrading Species in the Rumen. *FASEB Journal* 17: 2.
- Mosoni P., Martin C., Forano E., Morgavi D.P. 2011. Long-term defaunation increases the abundance of cellulolytic ruminococci and methanogens but does not affect the bacterial and methanogen diversity in the rumen of sheep. *Journal of Animal Science* 89: 783-791.
- Murray R.M., Bryant A.M., Leng R.A. 1976. Rates of production of methane in the rumen and large intestine of sheep. *British Journal of Nutrition* 36: 1-14.
- Nagaraja T.G., Newbold C.J., Van Nevel C.J., Demeyer D.I. 1997. Manipulation of ruminal fermentation. In: Hobson P.N., Stewart C.S. (eds.). *The rumen microbial ecosystem*. London: Blackie Academic and Professional. pp. 523-632.
- Offener A., Sauvant D. 2006. Thermodynamic modeling of ruminal fermentations. *Animal Research* 55: 343-365.
- Okine E.K., Mathison G.W., Hardin R.T. 1989. Effects of changes in frequency of reticular contractions on fluid and particulate passage rates in cattle. *Journal of Animal Science* 67: 3388-3396.
- Patra A.K., Yu Z. 2012. Effects of essential oils on methane production and fermentation by, and abundance and diversity of, rumen microbial populations. *Applied and Environmental Microbiology* 78: 4271-4280.
- Patra A.K. 2016. Recent Advances in measurement and dietary mitigation of enteric methane emission in ruminants. *Review. Frontiers in Veterinary Science* 3: 1-17.
- Patra A.K., Park T., Minseok K., Kim K., Yu Z. 2017. Rumen methanogens and mitigation of methane emission by anti-methanogenic compounds and substances. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 8: 13.
- Pinares-Patiño C.S., Ulyatt M.J., Lassey K.R., Barry T.N., Holmes C.W. 2003. Rumen function and digestion parameters associated with differences between sheep in methane emissions when fed chaffed lucerne hay. *Journal of Agriculture Science* 140: 205-214.
- Poulsen C., Schwab B., Jensen B. 2013. Methylotrophic methanogenic Thermoplasmata implicated in reduced methane emissions from bovine rumen. *Nature Communications* 4: 1428.
- Qiao J., Zhiliang T., Wang M. 2014. Potential and existing mechanisms of enteric methane production in ruminants. *Scientia Agricola* 71: 345-355.
- Ramírez J.F., Posada O., Noguera S. 2014. Ruminal methanogenesis and mitigation strategies. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia* 9: 307-323.
- Ramirez-Briebesca J.E. 2014. Biomethane production and clean up. In: Dikeman M., Divine C. (eds.). *Encyclopedia of Meat Science*. 2a. Ed. Elsevier. pp. 71-79.
- Rea S., Bowman J.P., Popovski S., Pimm C., Wright A.D.G. 2007. *Methanobrevibacter millerae* sp. nov. and *Methanobrevibacter olleyae* sp. nov., methanogens from the ovine and bovine rumen that can utilize formate for growth. *International Journal System and Evolution of Microbiology* 57: 450-456.
- Romero-Perez A., Okine E., McGinn S., Guan L., Oba M., Duval S. 2015. Sustained reduction in methane production from long-term addition of 3-nitrooxypropanol to a beef cattle diet. *Journal of Animal Science* 93: 1780-1791.
- Russell J.B., Wilson D.B. 1996. Why are rumen cellulolytic bacteria unable to digest cellulose at low pH? *Journal of Dairy Science* 79: 1503-1509.
- Shin E.C., Choi B.R., Lim W.J. 2004. Phylogenetic analysis of archaea in three fractions of cow rumen based on the 16S rDNA sequence. *Anaerobe* 10: 313-319.
- Smolenski W.J., Robinson J.A. 1988. *In situ* rumen hydrogen concentrations in steers fed eight times daily, measured using a mercury reduction detector. *FEMS Microbiology and Ecology* 53: 95-100.
- Song N., Zhang M.T., Binstead R.A., Fang Z., Meyer T.J. 2014. Multiple Pathways in the Oxidation of a NADH Analogue. *Inorganic Chemistry* 53: 4100-4105.
- Takenaka A., Mistumori M., Pinares-Patiño C.S., Ronimus R., Joblin K.N. 2008. Methane and hydrogen concentrations in the breath of sheep. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48: lxxxvii-lxxxviii.
- Thauer R.F., Kaster N.K., Seedorf S., Buckel W., Hedderich R. 2008. Methanogenic archaea: ecologically relevant differences in energy conservation. *Focus on Sustainability* 6: 579-591.
- Ungerfeld E., Rust S.R., Boone D.R., Liu Y. 2004. Effects of several inhibitors on pure cultures of ruminal methanogens. *Journal of Applied Microbiology* 97: 520-526.
- van Lier E., Regueiro M. 2008. Digestión en retículo-rumen. Universidad de la República. Montevideo, Uruguay.
- van Lingen H.J., Plugge C.M., Fadel J.G., Kebreab E., Bannink A., Dijkstra J. 2016. Thermodynamic Driving Force of Hydrogen on Rumen Microbial Metabolism: A Theoretical Investigation. *PLoS ONE* 11: e0161362.
- Wang S., Giller K., Kreuzer M., Ulbrich S.E., Braun U., Schwarm A. 2017. Contribution of Ruminal Fungi, Archaea, Protozoa, and Bacteria to the Methane Suppression Caused by Oilseed Supplemented Diets. *Frontier of Microbiology* 8: 1864.
- Wright A., Kennedy P., O'Neill C., Toovey A., Popovski S., Rea S., Pimm C.L., Klein L. 2004. Reducing methane emissions in sheep by immunization against rumen methanogens. *Vaccine* 22: 3976-3985.
- Wright A.D., Toovey A.F., Pimm C.L. 2006. Molecular identification of methanogenic archaea from sheep in Queensland, Australia reveal more uncultured novel archaea. *Anaerobe* 12: 134-139.
- Zhou M., Hernandez-Sanabria E., Guan L.L. 2010. Characterization of variation in rumen methanogenic communities under different dietary and host feed efficiency conditions, as determined by PCR-denaturing gradient gel electrophoresis analysis. *Applied and Environmental Microbiology* 76: 3776-3786.

PREDICCIÓN Y MITIGACIÓN DE LAS EMISIONES DE METANO DE LOS RUMIANTES

PREDICTION AND AMELIORATION OF METHANE EMISSIONS FROM RUMINANTS

Ungerfeld, E.M.^{1*}; Escobar-Bahamondes, P.¹; Muñoz, C.²

¹Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA Carillanca, Camino Cajón – Vilcún, Temuco, Chile. ²Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA Remehue, Ruta 5 km 8 norte Osorno, Osorno, Chile.

*Autor de correspondencia: emilio.ungerfeld@inia.cl

RESUMEN

Los sistemas ganaderos son altos emisores de metano entérico proveniente de la fermentación en el rumen. Existe interés creciente en controlar la producción de metano en el rumen debido a sus efectos ambientales y la pérdida de energía que supone. Varias estrategias de mitigación de la producción de metano por los rumiantes están siendo investigadas, como alimentación, selección de animales de baja emisión, intensificación de la producción animal, compuestos secundarios de plantas, inhibidores químicos, nitrato, inmunización, defaunación, acetogenesis reductiva, y bacteriófagos. Adicionalmente, se investiga en el desarrollo de modelos predictivos de la producción de metano entérica en función de la producción de leche o la composición de la dieta para construir inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero por países, regiones o sectores.

Palabras clave: Cambio climático, gases de efecto invernadero, metano, rumen, rumiantes, mitigación, modelos de predicción.

ABSTRACT

Livestock production systems emit enteric methane originated in rumen fermentation. There is growing interest in controlling methane production in the rumen because of its effects on climate change and the energy utilization inefficiency implied by methane losses to the atmosphere. There are currently several strategies of enteric methane abatement being investigated: nutrition, selection of low emitting animals, intensification of production, plant secondary compounds, chemical inhibitors, nitrate, immunization, defaunation, reductive acetogenesis, and bacteriophages. Research is also performed in developing predictive models of methane emissions based on animal production or diet composition, which can be used to build inventories of greenhouse gases emissions by country, region or sector.

Keywords: Climate change, greenhouse gases, methane, rumen, ruminants, prediction models.

Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 2, febrero. 2018, pp: 34-39.

Recibido: diciembre, 2017. **Aceptado:** febrero, 2018.

INTRODUCCIÓN

El dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O) son gases con efecto invernadero y sus concentraciones en noviembre 2017 superaron las más altas registradas durante los últimos 800,000 años (Global Greenhouse Gas Reference Network). Los principales gases de efecto invernadero (GEI) en los sistemas ganaderos son el CH₄ (43 %), el N₂O (29 %) y el CO₂ (27 %). El ganado vacuno emite cerca de 2.5 millones de toneladas anuales de CO₂ equivalente (CO₂-eq) principalmente como CH₄ entérico (77 %), siendo la producción de carne bovina la más importante (36 %) seguida de leche (30 %).

Producción de metano en el rumen

Los rumiantes poseen en su rumen una compleja comunidad microbiana que digiere y fermenta los alimentos ingeridos, y que confiere a estos animales la capacidad de transformar fibra lignocelulósica que los seres humanos no podemos digerir a productos útiles como carne, leche, lana, cuero y tracción animal. En el rumen los polisacáridos son digeridos a mono y oligosacáridos. Los microorganismos ruminales metabolizan luego estos azúcares vía glucólisis a piruvato y finalmente ácidos grasos volátiles (AGV), principalmente acético, propiónico y butírico.

Durante la glicólisis y la decarboxilación oxidativa del piruvato a acetyl-CoA se reducen co-factores que necesitan ser re-oxidados para que la fermentación pueda continuar (Figura 1). Los cofactores transfieren electrones a protones formando dihidrógeno (H₂), el cual es transferido desde los organismos fermentativos a Archaea metanógenicas, que utilizan el H₂ para reducir el CO₂ a CH₄.

El CH₄ es el principal sumidero de electrones en el ambiente anaeróbico del rumen, pero en la formación de propionato también se incorpora hidrógeno metabólico proveniente de cofactores reducidos. Es así que la producción de acetato, y en menor medida la de butirato, a partir de hexosas resultan en la liberación de equivalentes reductores que en su mayo-

ría estarán disponibles para la metanogénesis, mientras que la producción de propionato incorpora equivalentes reductores compitiendo con la formación de CH₄.

El control de la producción de metano en el rumen

Existe interés creciente por disminuir la producción de CH₄ por los rumiantes debido a sus efectos sobre el cambio climático y las pérdidas de energía que representan. Existen varias estrategias de control de las emisiones de CH₄ por los rumiantes que están siendo investigadas, algunas de ellas más cerca de la aplicación práctica, y otras en etapas más tempranas de investigación (Figura 2).

Intensificación de la producción. Cuando la productividad animal mejora, la cantidad de CH₄ producido relativo a la cantidad de producto generado disminuye (intensidad de emisiones). Por ejemplo, las emisiones totales de CH₄ pueden reducirse en un 67 % si se usa una sola vaca de alto rendimiento, en lugar de dos vacas de bajo rendimiento, para producir 10,000 kg de leche por año (Yan *et al.*, 2006). La intensificación de la producción es una estrategia atractiva para los agricultores, está fácilmente disponible para ser implementada y puede ayudar a satisfacer la creciente demanda de alimentos de origen animal. Debe tenerse en cuenta que algunas herramientas de intensificación pueden resultar en aumentos en emisiones de otros gases de efecto invernadero, como mayor uso de combustibles fósiles, óxido nitroso de fertilizantes nitrogenados, etc.

Alimentación. Existe una relación directa entre nivel de consumo de materia seca y producción de CH₄ (Hristov *et al.*, 2013). Sin embargo, la composición nutricional de la dieta también juega un rol importante en la producción de CH₄. Por ejemplo, la presencia de fibra insoluble de las paredes celulares en la dieta favorece una mayor relación de acetato:propionato y mayor producción de CH₄. En cambio la fermentación de carbohidratos solubles produce menor producción de CH₄ (Johnson and Johnson, 1995).

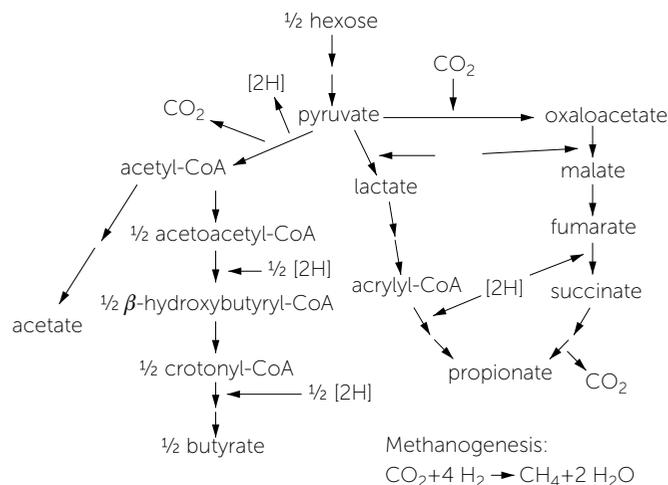


Figura 1. Principales vías fermentativas en el rumen (Ungerfeld and Forster, 2011).

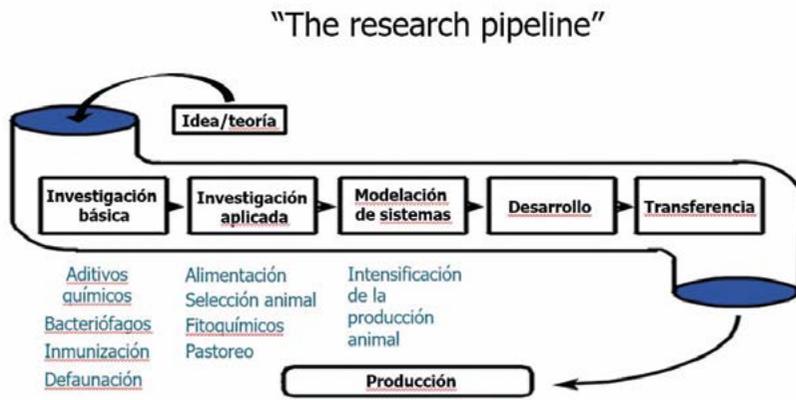


Figura 2. La "tubería de la investigación". Algunas estrategias de investigación en el control de las emisiones de CH₄ por los rumiantes y sus estados actuales aproximados.

Manejo del pastoreo. La producción de CH₄ aumenta a medida que el forraje madura (Johnson and Johnson, 1995). Muñoz *et al.* (2016) demostraron que un correcto manejo de pastoreo que permitía ofrecer a vacas de leche una masa forrajera pre-pastoreo de ~2200 kg materia seca por ha, resultó en menores emisiones de CH₄ que un manejo de pastoreo con masa forrajera pre-pastoreo de ~5000 kg materia seca por ha.

Selección animal. Las emisiones de CH₄ tienen un componente hereditario (de Haas *et al.*, 2017). Se han reportado asociaciones entre la producción individual de CH₄ y la composición de la comunidad microbiana subyacente del rumen. Otra estrategia de selección animal se ha focalizado en seleccionar animales más eficientes en el uso de alimentos, que se ha comprobado producen menos CH₄ (Fitzsimons *et al.*, 2013).

Aditivos químicos. Compuestos halogenados análogos del CH₄ como el cloroformo y el bromoclorometano son inhibidores potentes de la metanogénesis (Clapper-ton, 1974), pero su toxicidad hace que no sean considerados fuera de la investigación. Los ionóforos poseen efectos moderados en la producción de CH₄, existiendo evidencias de que sus efectos podrían ser transitorios (Eckard *et al.*, 2010). Más recientemente, el 3-nitrooxipropanol está siendo evaluado en producción de carne (Romero-Perez *et al.*, 2014) y leche (Hristov *et al.*, 2015), pero aún no está disponible comercialmente. A pesar de que los inhibidores de la metanogénesis son la estrategia más efectiva de mitigación de la producción de CH₄ en el rumen (Veneman *et al.*, 2016), no han promovido respuestas consistentes en productividad animal y pueden ser rechazados por los consumidores en algunos mercados.

Compuestos secundarios de plantas. Los taninos pueden tener efectos moderados en la producción de CH₄, aunque dosis altas disminuyen el consumo y la digestibilidad. Las saponinas también pueden disminuir la producción de CH₄ inhibiendo protozoa (Eckard *et al.*, 2010). En general, los fitoquímicos tienen una efectividad variable debido a la variación en su composición química de acuerdo al estado fenológico de la planta, localización, etc.

Nitrato. La reducción de nitrato a amonio es termodinámicamente más favorable que la reducción de CO₂ a CH₄ (Cord-Ruwisch *et al.*, 1988). Además, el compuesto intermedio de la reducción de nitrato a amonio, el nitrito, es tóxico para los metanógenos. Sin embargo, el nitrito también es tóxico para el animal si es absorbido, formando meta-hemoglobina, que no puede transportar oxígeno. La reducción de nitrato a nitrito es más rápida que la reducción de nitrito a amonio, y el nitrito se acumula en el rumen y se absorbe en la sangre, causando toxicidad y hasta la muerte. Es posible sin embargo adaptar el rumen incluyendo gradualmente nitrato en la dieta para estimular poblaciones microbianas que transforman el nitrito en amonio (Yang *et al.*, 2016). La suplementación con nitrato puede aumentar las emisiones de óxido nítrico (Petersen *et al.*, 2015).

Defaunación. Una proporción importante del CH₄ ruminal es producido por metanógenos simbiotes de protozoa, por lo que la eliminación de protozoa, o defaunación, ha sido estudiada como una herramienta potencial para disminuir las emisiones de CH₄. No existe aún un método de defaunación que sea práctico para aplicar a nivel de producción, aunque algunos extractos vegetales pueden disminuir el número de protozoa (Newbold *et al.*, 2015).

Acetogénesis reductiva. La reducción de CO₂ a acetato es llevado a cabo por un grupo amplio de microorganismos no especializados. En el rumen la metanogénesis mantiene una concentración de H₂ lo suficientemente baja como para que la acetogénesis reductiva sea termodinámicamente inviable (Ungerfeld and Kohn, 2006). Si la metanogénesis fuese inhibida a través de otro mecanismo, el hidrógeno metabólico no utilizado en la producción de CH₄ podría ser redirigido hacia acetato, que el animal puede absorber y utilizar como fuente de

energía y carbono (Ungerfeld, 2013). Organismos acetogénicos reductivos dominan sobre los metanógenos en los tractos digestivos de humanos, algunas termitas, roedores, cerdos, y en corderos antes del establecimiento de metanógenos (Joblin, 1999).

Inmunización contra metanógenos. Con esta estrategia se han logrado resultados modestos hasta el momento. Los anticuerpos que se generen tienen que ser efectivos contra un rango amplio de metanógenos. Se busca desarrollar vacunas conteniendo anticuerpos contra proteínas de la pared celular comunes a las diferentes especies de metanógenos del rumen (Eckard *et al.*, 2010).

Bacteriófagos. Aún es poco lo que se conoce de los bacteriófagos ruminales. Algunos fagos han sido aislados de metanógenos en otros ambientes (Eckard *et al.*, 2010).

Predicción de la producción de metano

En la última reunión de la "Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático" en París 2015, el mundo con excepción de Estados Unidos se compro-

metió a fortalecer una respuesta global a la amenaza del cambio climático mediante la disminución de las emisiones totales de GEI. Para el monitoreo de los avances en disminución de GEI se requiere que los países firmantes presenten un inventario nacional anual de emisiones.

Los avances en la comprensión de la fermentación ruminal permiten desarrollar modelos matemáticos útiles para que la industria ganadera determine sus impactos ambientales. Las metodologías pueden clasificarse de menor a mayor complejidad. El Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, 2006) sugiere el uso de las metodologías Tier 1, Tier 2 o Tier 3 para cada categoría animal (Cuadro 1).

La metodología Tier 1 indica el uso de un factor de emisión anual que se multiplica por el número de animales presentes en un país. Estos factores también han sido sugeridos por IPCC (2006) de acuerdo al tipo de animal y lugar geográfico (Cuadros 2 y 3).

La metodología Tier 2 indica que cualquier bovino alimentado con forrajes hasta un 10 % del total de la dieta base materia seca (o bien ≤ 90 % de concentrado base materia seca), su producción diaria de CH_4 será equivalente a 6.5 % de su ingesta de energía bruta. En caso del ganado de carne en corral de engorda (dieta ≥ 90 % de concentrado base materia seca), el 3.0 % de su ingesta de energía bruta será eliminada como CH_4 . El cálculo final por cada animal está configurado por la estimación de consumo diario, su conversión en energía bruta, la proporción de concentrado en la dieta y su pérdida energética como CH_4 .

La metodología Tier 3 posee una mayor precisión en la estimación de CH_4 entérico debido a que se utilizan modelos empíricos o determinísticos basados en variables o

expresiones matemáticas complejas que consideran aspectos del animal (por ejemplo peso vivo, producción) y/o la composición química de la dieta (por ejemplo cantidad de fibra detergente neutro, grasa). Algunos ejemplos de ecuaciones son mostrados en el Cuadro 4.

A pesar de los avances, la predicción aún es inexacta comparada con datos observados.

Cuadro 1. Método sugerido para cálculo de inventario de acuerdo a la categoría de animal doméstico o granja.

Categoría	Método IPCC 2006
Vacas Lecheras	Tier 2 o Tier 3
Otro tipo de ganado bovino	Tier 2 o Tier 3
Búfalos	Tier 1 o Tier 2
Ovejas	Tier 1 o Tier 2
Cabras	Tier 1
Camellos	Tier 1
Caballos	Tier 1
Mulas y Asnos	Tier 1
Otros (Alpacas, Llamas, Ciervos)	Tier 1

Cuadro 2. Factores de emisión de metano para método Tier 1 (kg CH_4 por cabeza por año).

Categoría	Países desarrollados	Países en desarrollo	Peso vivo (kg)
Búfalos	55	55	300
Ovejas	8	5	65 países desarrollados 45 países en desarrollo
Cabras	5	5	40
Camellos	46	46	570
Caballos	18	18	550
Mulas y Asnos	10	10	245
Ciervos	20	20	120
Alpacas	8	8	65

Cuadro 3. Factores de emisión de metano para método Tier 1 para ganado bovino (kg CH₄ por cabeza por año).

Región	Categoría de ganado	Factor de emisión	Comentarios
Norteamérica	Ganado lechero	128	Producción anual promedio por vaca 8400 kg leche.
	Otro tipo de Ganado	53	Ganado de carne, toros, terneros, vaquillas, ganado en corral de engorda.
Europa del Oeste	Ganado Lechero	117	Producción anual promedio por vaca 6000 kg leche.
	Otro tipo de Ganado	57	Ganado de carne, toros, terneros, vaquillas.
Europa del Este	Ganado Lechero	99	Producción anual promedio por vaca 2550 kg leche.
	Otro tipo de Ganado	58	Ganado de carne, toros, terneros, vaquillas.
Oceanía	Ganado Lechero	90	Producción anual promedio por vaca 2200 kg leche.
	Otro tipo de Ganado	60	Ganado de carne, toros, terneros, vaquillas.
Latinoamérica	Ganado Lechero	72	Producción anual promedio por vaca 800 kg leche.
	Otro tipo de Ganado	56	Ganado de carne, toros, terneros, vaquillas.
Asia	Ganado Lechero	68	Producción anual promedio por vaca 1650 kg leche.
	Otro tipo de Ganado	47	Incluye vacas multipropósito, toros y animales jóvenes.
África y Medio Oriente	Ganado Lechero	46	Producción anual promedio por vaca 1650 kg leche.
	Otro tipo de Ganado	31	Incluye vacas multipropósito, toros y animales jóvenes.

Cuadro 4. Ecuaciones de predicción de metano, método Tier 3 (g CH₄ por día).

Fuente	Especie	Ecuación
Moe and Tyrrell (1979)	Vacas en lactancia	$[0,341 + 0.511 \times \text{NSC} (\text{kg día}^{-1}) + 1.74 \times \text{HC} (\text{kg día}^{-1}) + 2.65 \times \text{CEL} (\text{kg día}^{-1})] / 0.05565$
Ricci <i>et al.</i> (2013)	Vacas en lactancia	$79.87 + 9.95 \times \text{CMS} - 15.15 \times \text{Feed} - 74.48 \times \text{Stage} - 3.67 \times \text{CMS} \times \text{Feed} + 10.90 \times \text{CMS} \times \text{Stage}$
Moraes <i>et al.</i> (2014)	Vacas en lactancia	$-9.311 + 0.042 \times \text{CEB} + 0.094 \times \text{FDN} - 0.381 \times \text{EE} + 0.008 \times \text{PV} + 1.621 \times \text{Grasa láctea}$
	Vacas no lactantes	$2.880 + 0.053 \times \text{CEB} - 0.190 \times \text{EE}$
Escobar-Bahamondes <i>et al.</i> (2017)	Ganado de carne (dieta ≥ 40 % forraje BMS)	$71.5 + 0.12 \times \text{PV} + 0.10 \times \text{CMS}^3 - 244.8 \times \text{EE}^3$
Moraes <i>et al.</i> (2014)	Ganado de carne (dieta ≤ 20 % forraje BMS)	$-0.221 + 0.048 \times \text{CEB} + 0.005 \times \text{PV}$
Escobar-Bahamondes <i>et al.</i> (2017)	Ganado de carne (dieta ≤ 20 % forraje BMS)	$-10.1 + 0.21 \times \text{PV} + 0.36 \times \text{CMS}^2 - 69.2 \times \text{EE}^3 + 13.0 \times (\text{PC}:\text{FDN}) - 4.9 \times$
Ellis <i>et al.</i> (2007)	Ganado de carne (dieta ≤ 20 % forraje BMS)	$((-1.02 + 0.681 \times \text{CMS} + 0.0481 \times \text{forraje} (\%)) / 55.54) \times 1000$

BMS, Base materia seca, CEB, Consumo de energía bruta (MJ d⁻¹), CEL=Celulosa, CF=Fibra cruda, CMS=Consumo de material seca (kg d⁻¹), DMD=DM digestibilidad (kg kg⁻¹ DM), ED=Consumo de Energía Digestible (MJ d⁻¹), EDm=Proporción (%) de EB, EE=Proporción de extracto etéreo (% MS), FDN=Proporción de fibra detergente neutro (% MS), Feed=Tipo de alimento (bajo en concentrados (≤ 500 g kg⁻¹ MS)=0 o alto concentrado (> 500 g kg⁻¹ MS)=1, HC=Hemicelulosa, MEI=Consumo de energía metabolizable (MJ d⁻¹), MN=Múltiplo de mantención, MY=Rendimiento de producción de leche, NFE=Extracto libre de Nitrógeno, NSC=carbohidratos no estructurales, PC=Proteína cruda, PV, peso vivo (kg), Stage=Estado fisiológico (seca=0 y en lactancia=1).

A pesar de esta limitación, algunos de estos modelos han sido incorporados a modelos de cálculo de requerimientos de ganado de carne (NASEM; National Academies of Sciences, 2016) para estimar emisiones a nivel de predial o construir inventarios nacionales.

La estimación de la efectividad de estrategias particulares de mitigación depende de la precisión de los modelos utilizados para la estimación de CH₄ entérico. Por

tanto, una predicción precisa es un requisito para calcular una estimación realista del balance completo de GEI de los predios ganaderos y de los inventarios nacionales de GEI.

AGRADECIMIENTO

Se agradece el apoyo de la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica, Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico, Proyecto 1151355.

LITERATURA CITADA

- Clapperton J.L. 1974. The effect of trichloroacetamide, chloroform and linseed oil given into the rumen of sheep on some of the end-products of rumen digestion. *British Journal of Nutrition* 32: 155-161.
- Cord-Ruwisch R., Seitz H.J., Conrad R. 1988. The capacity of hydrogenotrophic anaerobic bacteria to compete for traces of hydrogen depends on the redox potential of the terminal electron acceptor. *Archives of Microbiology* 149: 350-357.
- de Haas Y., Pszczola M., Soyeyurt H., Wall E., Lassen J. 2017. IPhenotypes to genetically reduce greenhouse gas emissions in dairying. *Journal of Dairy Science* 100: 855-870.
- Eckard R.J., Grainger C., De Klein C.A. M. 2010. Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: a review. *Livestock Science* 130: 47-56. doi: 10.1016/j.livsci.2010.02.010.
- Ellis J.L., Kebreab E., Odongo N.E., McBride B.W., Okine E.K., France J. 2007. Prediction of methane production from dairy and beef cattle. *Journal of Dairy Science* 90: 3456-3466. doi: 10.3168/jds.2006-675.
- Escobar-Bahamondes P., Oba M., Beauchemin K. A. 2017. An evaluation of the accuracy and precision of methane prediction equations for beef cattle fed high-forage and high-grain diets. *Animal* 11: 68-77. doi: 10.1017/s175173111600121x.
- Fitzsimons C., Kenny D. A., Deighton M.H., Fahey A. G., McGee M. 2013. Methane emissions, body composition, and rumen fermentation traits of beef heifers differing in residual feed intake. *Journal of Animal Science* 91: 5789-5800. doi: 10.2527/jas.2013-6956.
- Global Greenhouse Gas Reference Network. <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/history.html> y <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/news/7074.html>
- Hristov A.N., Oh J., Giallongo F., Frederick T.W., Harper M.T., Weeks H.L., et al. 2015. An inhibitor persistently decreased enteric methane emission from dairy cows with no negative effect on milk production. *Proceedings of the National Academy of Science of the U.S.A.* 112: 10663-10668. doi: 10.1073/pnas.1504124112.
- Hristov A.N., Oh J., Lee C., Meinen R., Montes F., Ott T., et al. 2013. Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production – A review of technical options for non-CO₂ emissions. Rome, Italy: FAO.
- IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme Retrieved 12 February 2018, 2018, from http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/0_Overview/V0_0_Cover.pdf.
- Joblin K.N. 1999. Ruminant acetogens and their potential to lower ruminant methane emissions. *Australian Journal of Agricultural Research* 50: 1307-1313. doi: 10.1071/AR99004.
- Johnson K.A., Johnson D.E. 1995. Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science* 73: 2483-2492.
- Moe P.W., Tyrrell, H.F. 1979. Methane production in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 62: 1583-1586. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(79)83465-7.
- Moraes L.E., Strathe A.B., Fadel J.G., Casper D.P., Kebreab E. 2014. Prediction of enteric methane emissions from cattle. *Glob. Change Biol.* 20: 2140-2148. doi: 10.1111/gcb.12471.
- Muñoz C., Letelier P.A., Ungerfeld E.M., Morales J.M., Hube S., Perez-Prieto L.A. 2016. Effects of pregrazing herbage mass in late spring on enteric methane emissions, dry matter intake, and milk production of dairy cows. *Journal of Dairy science* 99: 7945-7955. doi: 10.3168/jds.2016-10919.
- NASEM (National Academies of Sciences, Engineering and Medicine) 2016. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. Washington, DC: The National Academy Press.
- Newbold C.J., de la Fuente G., Belanche A., Ramos-Morales E., McEwan N.R. 2015. The role of ciliate protozoa in the rumen. *Frontiers in Microbiology* 6:1313. doi: 10.3389/fmicb.2015.01313.
- Petersen S.O., Hellwing A.L., Brask M., Hojberg O., Poulsen M., Zhu Z., Baral K.R., Lund P. 2015. Dietary nitrate for methane mitigation leads to nitrous oxide emissions from dairy cows. *Journal of Environmental Quality* 44: 1063-1070. doi: 10.2134/jeq2015.02.0107.
- Ricci P., Rooke J.A., Nevison I., Waterhouse A. 2013. Methane emissions from beef and dairy cattle: quantifying the effect of physiological stage and diet characteristics. *Journal of Animal Science* 91: 5379-5389. doi: 10.2527/jas.2013-6544.
- Romero-Perez A., Okine E.K., McGinn S.M., Guan L.L., Oba M., Duval S.M., Duval S.M., Kindermann M., Beauchemin K.A. 2014. The potential of 3-nitrooxypropanol to lower enteric methane emissions from beef cattle. *Journal of Animal Science* 92: 4682-4693. doi: 10.2527/jas2014-7573.
- Ungerfeld E.M. 2013. A theoretical comparison between two ruminal electron sinks. *Frontiers in Microbiology* 4:319. doi: 10.3389/fmicb.2013.00319.
- Ungerfeld E.M., Forster R.J. 2011. A meta-analysis of malate effects on methanogenesis in ruminal batch cultures. *Animal Feed Science and Technology* 166-167: 282-290. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2011.04.018.
- Ungerfeld E.M., Kohn R.A. 2006. The role of thermodynamics in the control of ruminal fermentation. *In: Sejrsen K., Hvelplund T., Nielsen M.O. Ruminant Physiology*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands. pp. 55-85.
- Veneman J.B., Saetnan E.R., Clare A.J., Newbold C.J. 2016. MitiGate; an online meta-analysis database for quantification of mitigation strategies for enteric methane emissions. *Science of the Total Environment* 572: 1166-1174. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.08.029.
- Yan T., Mayne C.S., Porter M.G. 2006. Effects of dietary and animal factors on methane production in dairy cows offered grass silage-based diets. *International congress Series* 1293: 123-126.
- Yang C., Rooke J.A., Cabeza I., Wallace R.J. 2016. Nitrate and inhibition of ruminal methanogenesis: microbial ecology, obstacles, and opportunities for lowering methane emissions from ruminant livestock. *Frontiers in Microbiology* 7:132. doi: 10.3389/fmicb.2016.00132.

POTENCIAL DE EMISIÓN DE GASES EFECTO INVERNADERO DE PLANTAS FORRAJERAS POR FERMENTACIÓN ENTÉRICA

POTENTIAL OF GREENHOUSE GAS EMISSION BY FORAGE PLANTS FROM ENTERIC FERMENTATION

Sánchez-Santillán, P.²; Torres-Cardona, M.G.¹; Campos-Montiel, R.G.¹; Soriano-Robles, R.³; Fernández-Luqueño, F.⁴; Medina-Pérez, G.⁵; Del Razo-Rodríguez, O.E.¹; Almaraz-Buendía, I.^{1*}

¹Instituto de Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Tulancingo, Hidalgo, México. ²Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia No. 2. Universidad Autónoma de Guerrero, Guerrero, México. ³Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Ciudad de México, México. ⁴Programa de Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía, CINVESTAV Saltillo, Coahuila de Zaragoza, Coahuila. ⁵Doctorado Transdisciplinario en Desarrollo Científico y Tecnológico para la Sociedad. CINVESTAV Zacatenco.

*Autor de correspondencia: isac@xanum.uam.mx

RESUMEN

Los rumiantes emiten metano (CH₄) y bióxido de carbono (CO₂) hacia la atmósfera, principalmente a partir de la fermentación de carbohidratos solubles y estructurales. Estos gases de efecto invernadero (GEI) favorecen el cambio climático y su concentración cada vez mayor en la atmósfera acelera el calentamiento global. Por ello, se han desarrollado diversas estrategias para disminuir su emisión, como el uso de modificadores metabólicos, la adición de aceites esenciales y de compuestos bioactivos de leguminosas arbóreas tropicales, entre otros. Sin embargo, las metodologías validadas para medir con mayor precisión la emisión de los GEI en rumiantes con frecuencia disminuyen el consumo de materia seca. El Panel Intergubernamental de Cambio Climático sugiere el uso de sus directrices para calcular la emisión de CH₄ por fermentación entérica en rumiantes, y para incrementar la precisión recomienda generar factores de emisión tomando en cuenta la composición química del sustrato y sus productos de fermentación. La digestión anaerobia y la técnica de producción de gas *in vitro* se han usado ampliamente para evaluar la degradación de sustratos y los productos de su fermentación. Así, estas técnicas también podrían usarse para generar factores de emisión de GEI y ser una alternativa más contra el calentamiento global.

Palabras clave: Rumiantes, metano, leguminosas tropicales, cambio climático, mitigación.

ABSTRACT

Ruminants emit methane (CH₄) and carbon dioxide (CO₂) to the atmosphere, mainly from the fermentation of soluble and structural carbohydrates. These greenhouse gases (GHG) favor climate change and their increasingly higher concentration in the atmosphere also accelerates global warming. Therefore, various strategies have been developed to reduce their emission, such as the use of metabolic modifiers, the addition of essential oils and bioactive

Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 2, febrero. 2018, pp: 40-45.

Recibido: diciembre, 2017. **Aceptado:** febrero, 2018.

compounds from tropical leguminous trees, among others. However, the methodologies validated to measure GHG emission by ruminants more precisely often decrease dry matter consumption. The Intergovernmental Panel on Climate Change suggests the use of its guidelines to estimate the emission of CH₄ from enteric fermentation in ruminants, and recommends generating emission factors taking into account the chemical composition of substrate and its fermentation products in order to increase precision. Anaerobic digestion and the *in vitro* gas production technique have been used widely to evaluate the degradation of substrates and fermentation products. Thus, these techniques may also be used to generate GHG emission factors and can be another alternative versus global warming.

Keywords: Ruminants, methane, tropical legumes, climate change, mitigation.

INTRODUCCIÓN

Las actividades ganaderas son una fuente potencial de emisión de gases de efecto invernadero (GEI), de los cuales los de mayor importancia son el bióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). De estos GEI, el potencial de calentamiento global del CH₄ es de 21 a 25 veces el del CO₂ y se emite principalmente por fermentación entérica y fermentación de excretas (NASEM, 2016). Respecto a la fermentación entérica en rumiantes, la emisión de GEI cambia con respecto al sistema de producción, a las prácticas de manejo y a las estrategias implementadas en su alimentación. De hecho, dietas altas en forraje generan más CH₄ entérico que dietas altas en concentrado (Beauchemin *et al.*, 2007). Además de lo anterior, diversos factores afectan la emisión de CH₄ en rumiantes. Por ejemplo, este fenómeno disminuye al reducir el consumo de materia seca (MS), al aumentar la proporción de granos en dieta y su procesamiento, al sustituir henificados por ensilados dentro de la ración, al adicionar lípidos, ionóforos o ambos, al disminuir el tamaño de partícula, al adicionar modificadores metabólicos como el sulfonato 2-bromoetano (Hristov *et al.*, 2013), el 3-nitrooxypropanol (Romero-Pérez *et al.*, 2014) y al incluir algunos aditivos, como algunos compuestos secundarios de origen vegetal (saponinas, taninos, compuestos fenólicos, aceites esenciales), ácidos dicarboxí-

licos (fumarato, malato, acrilato), bacterias y levaduras (Beauchemin *et al.*, 2007; NASEM, 2016). Otro factor que afecta la emisión de CH₄ entérico en el ganado lechero es la etapa de producción, de manera que es mayor en vacas que se encuentran en plena lactancia, lo que sugiere una estrecha relación con el consumo de MS.

Sin embargo, a pesar de que diversos estudios están orientados a realizar estimaciones de emisión de CH₄ entérico en rumiantes, la metodología que se utiliza para ello no es uniforme, por lo que la información debe interpretarse cuidadosamente. La tecnología que se utiliza para realizar esas estimaciones es una limitante en muchos países en desarrollo y emergentes debido a la baja disponibilidad y acceso a los equipos e infraestructura que se describen en estudios realizados en países desarrollados. Por lo tanto, el objetivo de este artículo es realizar una breve revisión acerca de los métodos que se usan para medir la emisión de CH₄ por fermentación entérica en rumiantes, así como el potencial de emisión o mitigación de este gas de algunas plantas forrajeras, principalmente leguminosas.

Métodos para medir la emisión de CH₄ en rumiantes

La emisión de gases efecto invernadero (GEI) por fermentación entérica en rumiantes depende de muchos factores. Entre los más importantes se consideran la composición química del sustrato y el efecto en su fermentación *in vitro* y su digestibilidad *in vivo*. Sin embargo, para que los datos de emisión de GEI por fermentación entérica en rumiantes sean más precisos, las metodologías que se utilizan deberían poder replicarse sin inconvenientes (NASEM, 2016). De acuerdo con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (Powers *et al.*, 2014), el método estándar para medir la emisión de CH₄ originado por fermentación entérica en rumiantes es por cámaras de respiración calorimétricas. Además, existen otras técnicas útiles, como los cubos donde los rumiantes al comer introducen su cabeza y el CH₄ es detectado, indicadores internos como el hexafluoruro (SF₆), métodos micrometeorológicos (flujo horizontal integrado, flujo de gradiente), dilución de isótopos, túneles de polietileno, así como otras técnicas nuevas no validadas. Sin embargo, al aplicar estas metodologías es frecuente una reducción en el consumo de materia seca por el rumiante que no necesariamente refleja su productividad y consumo de alimento en explotaciones comerciales, sino por el contrario, se afecta el bienestar animal. Con base en lo anterior, también se han utilizado modelos para estimar la emisión de CH₄ entérico



en ganado lechero. Estos modelos están basados en el consumo de energía metabolizable (EM), fibra detergente ácido (FDA) y contenido de almidón en la dieta (Mills *et al.*, 2003, citado por Powers *et al.*, 2014).

Procedimientos para estimar el potencial de emisión de CH₄ de plantas forrajeras

La técnica de producción de gas *in vitro* se usa ampliamente para evaluar la digestibilidad de los alimentos en rumiantes y las estrategias de alimentación (Getachew *et al.*, 2005). Esta técnica también se ha utilizado para evaluar el efecto de aditivos, modificadores metabólicos, cambios en la proporción de ingredientes, y más, en las variables de fermentación, como lo reportaron Hatew *et al.* (2015) y Macome *et al.* (2017). Dentro de las variables que se originan por la fermentación de los alimentos está la formación de CH₄, la cual inicialmente no era una variable de interés, pero puede contribuir a estimar el potencial de emisión de CH₄ de los alimentos y de las estrategias de alimentación debido a que como lo describen Negussie *et al.* (2017), la mayoría de la metanogénesis (87 %) tiene lugar dentro del rumen. Acorde a Hristov *et al.* (2013), la composición química de los alimentos y su degradabilidad en rumen afectan la emisión de CH₄ debido a la proporción de ácidos grasos volátiles que se originan a partir de su fermentación. En este contexto, la producción de gas *in vitro* es una técnica disponible que han usado diversos investigadores puede ser una opción viable para caracterizar el potencial de emisión de los alimentos en rumiantes.

La digestión anaerobia es una técnica similar a la producción de gas *in vitro* y se usa ampliamente para medir el potencial de emisión de GEI de diversos sustratos usando diferentes inóculos, entre ellos, lodos anaerobios (Yan *et al.*, 2017) y heces de animales (Islas-Espinosa *et al.*, 2017). Sin embargo, esta variabilidad en los métodos sugiere analizar cuidadosamente los resultados como lo recomiendan Yan *et al.* (2017).

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC, por sus siglas en inglés) requiere a los países proveer estimados de todas las emisiones de GEI y sus incertidumbres usando las directrices del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2006). En estas directrices, la mayoría de la información generada para estimar la emisión de CH₄ a partir de la fermentación entérica utiliza los métodos Nivel 1 y Nivel 2. El Nivel 2 es un método más complejo que el Nivel 1 y se basa en un estimado del consu-

mo anual de energía total de un animal representativo que después lo multiplica por un factor de conversión de metano (Y_m) para categorías específicas del ganado. Para el Nivel 3, es necesario considerar la composición química de la dieta y la concentración de productos resultado de la fermentación, por lo que el IPCC sugiere a los países con grandes poblaciones de ganado generar factores de emisión para inventarios de emisión de GEI más precisos.

El IPCC provee un valor Y_m de 6.5 ± 1 % para vacas lecheras, vacunos alimentados fundamentalmente con desechos agrícolas y subproductos de baja calidad, vacunos en pastoreo y ovinos maduros; de 4.5 ± 1 % para corderos; y de 3 ± 1 % para ganado en finalización consumiendo menos de 900 g concentrado kg⁻¹ MS. Estos valores disminuyen al adicionar de 1 a 4 % de grasa en la dieta e incrementan al disminuir el porcentaje de grano (Beauchemin *et al.*, 2008; NASEM, 2016). Sin embargo, el uso de modificadores metabólicos y la adición de algunos componentes principales de los aceites esenciales en rumiantes pueden afectar esos valores. Por ejemplo, la producción de CH₄ disminuye en respuesta a la adición de aceite de ajo y de mezclas de aceites esenciales en experimentos *in vitro* (Benchaar y Greathead, 2011). Lo anterior sugiere que la precisión de la metodología del IPCC Nivel 2 es baja debido a que cada alimento tiene diferente potencial de emisión de GEI que puede ser alterado por la sinergia con otros alimentos y/o la adición de modificadores metabólicos o aceites esenciales, lo cual resulta en una gran incertidumbre para estimar los inventarios de emisión de estos gases (Escobar-Bahamontes *et al.*, 2017).

Uso de leguminosas arbóreas tropicales

El consumo de forrajes de baja calidad por rumiantes da como resultado mayor producción de metano (CH₄) (Melesse *et al.*, 2017) por el tipo de carbohidratos que lo constituyen. La adopción de nuevas opciones de mitigación de CH₄ como el uso de leguminosas arbóreas tropicales muestran ventajas nutricionales y ambientales (Patra, 2016). En el trópico hay especies de árboles que producen gran cantidad de forrajes de buena calidad, con alto contenido en proteína y minerales (Phesatcha y Wanapat, 2016; Melesse *et al.*, 2017) y en el trópico mexicano hay leguminosas arbóreas de interés para la alimentación de rumiantes. Las leguminosas arbóreas se usan como un recurso alternativo para superar las limitaciones de alimento y mitigar la emisión de CH₄ ruminal entérico mediante metabolitos secundarios (Saminathan

et al., 2015; Soltan *et al.*, 2017). Los metabolitos secundarios son compuestos bioactivos como polifenoles, taninos y oxidasas, mimosina, cianógenos y cumarinas (Phesatcha y Wanapat, 2016). Las leguminosas arbóreas se han evaluado muy poco en el contexto de su potencial para contribuir a la mitigación del cambio climático. Además, el potencial anti-metanogénico de los componentes fenólicos contenidos en las hojas de árboles o vainas tropicales no se han explorado completamente (Bhatta *et al.*, 2012).

Los metabolitos secundarios se consideraban factores antinutritivos en la alimentación animal por su actividad antibacteriana y decremento en la disponibilidad de nutrientes (Patra y Jyotisna, 2010; Soltan *et al.*, 2017). Las leguminosas arbóreas del trópico contienen metabolitos secundarios que tienen potencial para modificar la fermentación ruminal, ya que mejoran la eficiencia energética (Anantasook *et al.*, 2013). Taninos, saponinas y monensina mitigan la producción de CH₄ (Soltan *et al.*, 2017; Saminathan *et al.*, 2017) porque actúan sobre los protozoarios y tienen efecto tóxico en las arqueas metanogénicas, lo que da como resultado menor síntesis de CH₄ en rumen por la simbiosis que existe entre los protozoarios y las arqueas metanógenas (Patra y Jyotisna, 2009; Huang *et al.*, 2011; Tan *et al.*, 2011; Anantasook *et al.*, 2013; Cieslak *et al.*, 2013; Saminathan *et al.*, 2015; Phesatcha y Wanapat, 2016; Saminathan *et al.*, 2017; Soltan *et al.*, 2017). Además, los componentes de las leguminosas arbóreas tropicales ocasionan un cambio en la síntesis de propionato, lo que afecta la metanogénesis por la competencia reducida por el hidrógeno (Cieslak *et al.*, 2013).

Los taninos son compuestos polifenólicos de alto peso molecular solubles en agua con la capacidad de formar complejos con proteínas por los grupos hidroxilo fenólicos que contienen (Patra y Jyotisna, 2010; Cieslak *et al.*, 2012). Los taninos tienen un efecto directo sobre los microorganismos del rumen y un efecto indirecto sobre la digestión de las fibras, lo que disminuye la producción de hidrógeno (Cieslak *et al.*, 2012; Naumann *et al.*, 2013; Tavendale *et al.*, 2005). Así, el uso de los taninos de leguminosas arbóreas tropicales presenta un enfoque atractivo porque son productos químicos naturales en comparación de aquellos productos químicos como los antibióticos (Bhatta *et al.*, 2012). Los taninos se clasifican en hidrosolubles y condensados. Los taninos hidrosolubles son moléculas complejas con un poliol como núcleo central (como glucosa o glucitol) que están parcial o totalmente esterificados con un grupo fenólico. Estos son susceptibles de hidrólisis por ácidos, bases o estereasas que producen poliol (Patra y Jyotisna, 2009).

Los taninos condensados se conocen como proantocianidinas (Patra y Jyotisna, 2010; Huang *et al.*, 2011). El grado de mitigación de los taninos condensados va de 2 a 58 % según la concentración y composición del tanino y la especie de la que proviene (Saminathan *et al.*, 2015; Saminathan *et al.*, 2017). Una concentración de 5 a 30 g kg⁻¹ de taninos condensados muestran el potencial para mitigar la producción de CH₄ sin afectar la digestibilidad de la MS (Saminathan *et al.*, 2015). Actualmente, los taninos condensados se usan como aditivos para mejorar la eficiencia de la fermentación ruminal y el metabolismo de proteínas (Soltan *et al.*, 2017) ya que tienen un efecto bacteriostático sobre los metanógenos. Además, al mezclar taninos condensados con taninos hidrosolubles se potencializa la mitigación de CH₄ (Cieslak *et al.*, 2013).

Las saponinas son glucósidos de alto peso molecular compuestos de triterpeno o aglicona esterooidal unidos a uno o más azúcares, donde el número y tipo varía según la leguminosa arbórea tropical (Patra y Jyotisna, 2009). Las saponinas se unen a los esteroides de la membrana de los protozoarios causando destrucción celular, también actúan indirectamente sobre metanógenos al reducir el suministro del hidrógeno y eliminar protozoarios (Guo *et al.*, 2008; Anantasook *et al.*, 2013; Cieslak *et al.*, 2013).

La mimosina es un compuesto secundario que puede causar la muerte en los animales que no están adaptados a consumir hasta 30 % de la leguminosa arbórea tropical que los contenga. Este compuesto inhibe la síntesis de proteínas y el crecimiento de bacterias Gram positivas y hongos, además de ser un inhibidor de unión lenta a sustratos fenólicos dada su similitud estructural, por lo que podría estar relacionado a la disminución de CH₄ (Soltan *et al.*, 2017). Sin embargo, también puede ser tóxico para rumiantes no adaptados a consumirla manifestando alopecia, anorexia, baja peso, lesiones en el esófago, entre otras afecciones (Barros-Rodríguez *et al.*, 2014).

La leucaena (*Leucaena leucocephala*), arbusto o árbol longevo sin espinas utilizado en la alimentación de rumiantes durante la época de estiaje en el trópico (FAO, 2017), contiene de 24 a 30 % de proteína y de 2.3 a 12 % de mimosina en MS (Barros-Rodríguez *et al.*, 2014; FAO 2017). Leucaena



tiene propiedades antimetanogénicas (Saminathan et al., 2015; Soltan et al., 2017) debido a dos metabolitos secundarios responsables de sus actividades biológicas que pueden mejorar la digestibilidad de los nutrientes: taninos condensados y mimosina (Phesatcha y Wanapat, 2016; Soltan et al., 2017). Los taninos de las hojas y especialmente de los tallos reducen la digestibilidad de la MS y las proteínas, y el uso de dosis crecientes de taninos causan una reducción lineal de metanógenos y protozoarios. Sin embargo, la disminución de protozoarios no siempre se relaciona con la disminución de metanógenos (Cieslak et al., 2013).

El algarrobo (*Samanea saman*) es una planta leñosa de valor forrajero por su composición química, nutricional y antimicrobiana. El contenido de taninos condensados de su follaje se considera beneficioso en nutrición de rumiantes ya que reducen timpanismo, infecciones parasitarias y promueven el flujo de nitrógeno no amoniacal en intestinos (Ojeda et al., 2012; Milián-Domínguez et al., 2017). La maduración de la vaina se produce durante la época de sequía (febrero a mayo) y contienen una gran cantidad de metabolitos secundarios: taninos condensados (7.9 %, formados por monoglicones, delphinidina y malidina) y saponinas (Galindo et al., 2014; Milián-Domínguez et al., 2017). Estos metabolitos tienen el potencial de alterar la fermentación ruminal mediante la supresión de protozoarios y metanógenos lo que lleva a disminuir la producción de CH₄ *in vitro* e *in vivo* (Patra y Jyotisna, 2010; Anantasook et al., 2013; Anantasook et al., 2014). El algarrobo también contiene cantidades moderadas de saponinas, esteroides, alcaloides, flavonoides, y resinas (Milián-Domínguez et al., 2017). Las vainas contienen saponinas que reducen la metanogénesis (Galindo et al., 2012) y flavonoides que actúan como antioxidantes (Milián-Domínguez et al., 2017). La corteza del árbol contiene alcaloides de gran diversidad química que son fisiológicamente activos en los animales, en tanto que el follaje y la corteza contienen mayor cantidad de metabolitos secundarios que las flores y frutos (Milián-Domínguez et al., 2017).

CONCLUSIÓN

La cantidad de gases efecto invernadero que se emiten a la atmósfera por fermentación entérica en rumiantes requiere mejorar e implementar factores de emisión y estrategias orientadas a la mitigación de estos gases. Las metodologías que se utilizan para medir la concentración y cantidad de estos gases a partir de la fermentación de sustratos no son uniformes,

por lo que los resultados pueden ser inconsistentes. Así, las estrategias implementadas en la nutrición y alimentación de rumiantes pueden no ajustarse a las directrices del IPCC, por lo que la generación de factores de emisión de GEI mediante procedimientos universales más simples pueden ser de gran utilidad. Algunos metabolitos secundarios de plantas con potencial forrajero, principalmente leguminosas, representan una opción para disminuir la emisión de metano entérico en rumiantes sin afectar la productividad.

LITERATURA CITADA

- Anantasook N., Wanapat M., Cherdthong A. 2013. Manipulation of ruminal fermentation and methane production by supplementation of rain tree pod meal containing tannins and saponins in growing dairy steers. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 98: 50-55.
- Anantasook N., Wanapat M., Cherdthong A., Gunun P. 2014. Effect of tannins and saponins in *Samanea saman* on rumen environment, milk yield and milk composition in lactating dairy cows. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 99: 335-344.
- Barros-Rodríguez M., Sandoval-Castro C. A., Solorio-Sánchez J., Sarmiento-Franco L. A., Rojas-Herrera R. K., Athol V. 2014. *Leucaena leucocephala* in ruminant nutrition. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 17 (2): 173-183.
- Beauchemin K.A., Kreuzer M., O'Mara F., McAllister T.A. 2008. Nutritional management for enteric methane abatement: A review. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48: 21-27.
- Beauchemin K.A., McGinn S.M., Martínez T.F., McAllister T.A. 2007. Use of condensed tannin extract from quebracho trees to reduce methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science* 85: 1900-1906.
- Benchaar C., Greathead H. 2011. Essential oils and opportunities to mitigate enteric methane emissions from ruminants. *Animal Feed Science and Technology* 166-167: 338-355.
- Bhatta R., Mani S., Luna B., Sampath K. T. 2012. Nutrient content, *in vitro* ruminal fermentation characteristics and methane reduction potential of tropical tannin-containing leaves. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 92: 2929-2935.
- Cieslak A., Szumacher-Strabel M., Stochmal A., Oleszek W. 2013. Plant components with specific activities against rumen methanogens. *The Animal Consortium* 7: 253-265.
- Cieslak A., Zmora P., Pers-Kamczyc E., Szumacher-Strabel M. 2012. Effects of tannins source (*Vaccinium vitis idaea* L.) on rumen microbial fermentation *in vivo*. *Animal Feed Science and Technology* 176: 102-106.
- Escobar-Bahamondes P., Oba M., Kröbel R., McAllister T.A., MacDonald D., Beauchemin K.A. 2017. Estimating enteric methane production for beef cattle using empirical prediction models compared with IPCC Tier 2 methodology. *Canadian Journal of Animal Science* 97: 599-612.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2017. *Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit. Consulta: 30-octubre-2017. <http://www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/gbase/data/pf000158.htm>
- Galindo D.C., Hera R., Cairo J., Orta Y. 2014. *Samanea saman*, árbol multipropósito con potencialidades como alimento alternativo

- para animales de interés productivo. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 48: 205-212.
- Galindo J., González N., Scull I., Marrero Y., Sosa A., Aldana A.I. Moreira O., Delgado D., Ruiz T., Febles G., Torres V., La O O., Sarduy L., Noda A., Achang O. 2012. Efecto de *Samanea saman* (Jacq.) Merr., *Albizia lebbbeck* (L.) Benth y *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray (material vegetal 23) en la población de metanógenos y en la ecología microbiana ruminal. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 46: 273-278.
- Getachew G., DePeters E. J., Robinso P. H., Fadel J. G. 2005. Use of an *in vitro* rumen gas production technique to evaluate microbial fermentation of ruminant feeds and its impact on fermentation products. *Animal Feed Science and Technology* 123-124: 547-561.
- Guo Y.Q., Liu J.X., Lu Y., Zhu W.Y., Denman S.E., McSweeney C.S. 2008. Effect of tea saponin on methanogenesis, microbial community structure and expression of *mcrA* gene, in cultures of rumen micro-organisms. *Letters in Applied Microbiology* 47: 421-426.
- Hatew B., Cone J.W., Pellikan W.F., Podesta S.C., Hendriks W.H., Dijkstra J. 2015. Relationship between *in vitro* and *in vivo* methane production measured simultaneously with different dietary starch sources levels in dairy cattle. *Animal Feed Science and Technology* 202:20-31.
- Hristov A.N., Oh T., Firkins J.L., Dijkstra J., Kebreab E., Waghorn G., Makkar H.P.S., Adesogan A.T., Yang W., Lee C., Gerber P.J., Henderson B., Tricarico J.M. 2013. Special Topics: Mitigation of methane and nitrous oxide emissions of animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. *Journal of Animal Science* 91: 5045-5069.
- Huang X.D., Liang J.B., Tan H.Y. Yahya R., Ho Y.W. 2011. Effects of leucaena condensed tannins of differing molecular weights on *in vitro* CH₄ production. *Animal Feed Science and Technology* 166-167: 373-376.
- IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and other land use. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Eggleston H. S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. Tanabe K. (eds). IGES, Japan.
- Islas-Espinoza H.M.A., Vázquez-Chagoyán J.C., Salem A.Z.M. 2017. Anaerobic cometabolism of fruit and vegetable wastes using mammalian fecal inoculums: Fast assessment of biomethane production. *Journal of Cleaner Production*. 141: 1411-1418.
- Macome F.M., Pellikaan W.F., Schonewille J.T., Bannink A., Laar H.V., Hendriks W.H., Warner D., Cone J.W. 2017. *In vitro* rumen gas and methane production of grass silages differing in plan maturity and nitrogen fertilisation, compared to *in vivo* enteric methane production. *Animal Feed Science and Technology* 230: 96-102.
- Melesse A., Steingass H., Schollenberger M., Holstein J., Rodehutsord M. 2017. Nutrient compositions and *in vitro* methane production profiles of leaves and whole pods of twelve tropical multipurpose tree species cultivated in Ethiopia. *Agroforestry Systems* 91: 1-13.
- Milián-Domínguez J.C., Iglesias-Monroy O., Valdés-Marquez H., Sanjudo-Ramos Y. 2017. Estudio fitoquímico integral del *Samanea saman* de la región occidental de Cuba. *Revista Cubana de Química* 29: 480-491.
- NASEM. 2016. Nutrient requirements of beef cattle, Eight Revised Edition. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Washington, D. C.: The National Academies Press. Doi: 10.17226/19014.
- Naumann H.D., Tedeschi L.O., Muir J.P., Lambert B.D., Kothmann M.M. 2013. Effect of molecular weight of condensed tannins from warm-season perennial legumes on ruminal methane production *in vitro*. *Biochemical Systematics and Ecology* 50: 154-162.
- Negussie E., Lehtinen J., Mäntysaari P., Bayat A. R., Liinamo A.-E., Mäntysaari E. A., Lidauer M. H. 2017. Non-invasive individual methane measurement in dairy cows. *Animal*, 11(5): 890-899.
- Ojeda A., Barroso J.A., Obispo N., Cegarra R. 2012. Composición química, producción de gas *in vitro* y astringencia en el follaje de *Samanea saman* (Jacq.) Merrill. *Pastos y Forrajes* 35: 205-218.
- Patra A.K. 2016. Recent advances in measurement and dietary mitigation of enteric methane emissions in ruminants. *Frontiers in Veterinary Science* 3: 39.
- Patra A., Jyotisa S. 2009. Dietary phytochemicals as rumen modifiers: a review of the effects on microbial populations. *Antonie van Leeuwenhoek* 96: 363-375.
- Patra A., Jyotisa S. 2010. Exploitation of dietary tannins to improve rumen metabolism and ruminant nutrition. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 91: 24-37.
- Phesatcha K., Wanapat M. 2016. Tropical legume supplementation influences microbial protein synthesis and rumen ecology. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 101: 552-562.
- Powers W., Auvermann B., Cole N.A., Gooch C., Grant R., Hatfield J., Hunt P., Johnson K., Leytem A., Liao W., Powell J.M. 2014. Quantifying greenhouse gas sources and sinks in animal production systems. *In: Quantifying Greenhouse Gas Fluxes in Agriculture and Forestry: Methods for Entity-Scale Inventory*. Department of Agriculture, Washington. DC. 606 pages.
- Romero-Pérez A., Okine E.K., McGinn S.M., Guan L.L., Oba M., Duval S.M., Beauchemin K.A. 2014. The potential of 3-nitrooxypropanol to lower enteric methane emissions from beef cattle. *Journal of Animal Science* 92: 4682-4693.
- Saminathan M., Gan H. M., Abdullah N., Wong C.M.V.L., Ramiah S.K., Tan H.Y., Sieo C.C., Ho Y.W. 2017. Changes in rumen protozoal community by condensed tannin fractions of different molecular weights from a *Leucaena leucocephala* hybrid *in vitro*. *Journal of Applied Microbiology* 123: 41-53.
- Saminathan M., Sieo C.C., Abdullah N., Wong C.M.V.L., Ho Y.W. 2015. Effects of condensed tannin fractions of different molecular weights from a *Leucaena leucocephala* hybrid on *in vitro* methane production and rumen fermentation. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 95: 2742-2749.
- Soltan Y.A., Morsy A.S. Lucas R.C., Abdalla A.L. 2017. Potential of mimosine of *Leucaena leucocephala* for modulating ruminal nutrient degradability and methanogenesis. *Animal Feed Science and Technology* 223: 30-41.
- Tan H.Y., Sieo C.C. Abdullah N., Liang J.B., Huang X.D., Ho Y.W. 2011. Effects of condensed tannins from leucaena on methane production, rumen fermentation and populations of methanogens and protozoa *in vitro*. *Animal Feed Science and Technology* 169: 185-193.
- Tavendale M.H., Meagher L.P., Pacheco D., Walker N., Attwood G.T., Sivakumaran S. 2005. Methane production from *in vitro* rumen incubations with *Lotus pedunculatus* and *Medicago sativa*, and effects of extractable condensed tannin fractions on methanogenesis. *Animal Feed Science and Technology* 123-124: 403-419.
- Yan H., Zhao C., Zhang J., Zhang R., Xue C., Liu G., Chen C. 2017. Study on biomethane production and biodegradability of different leafy vegetables in anaerobic digestion. *AMB Express* 7-27. doi: 10.1186/s13568-017-0325-1.

EL METANO Y LA GANADERÍA BOVINA EN MÉXICO: ¿PARTE DE LA SOLUCIÓN Y NO DEL PROBLEMA?

METHANE AND CATTLE IN MEXICO: PART OF THE SOLUTION AND NOT OF THE PROBLEM?

Hernández-Medrano, J.H.¹; Corona, L.^{2*}

¹Departamento de Reproducción y ²Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México. C. P. 04510.

*Autor de correspondencia: gochi@unam.mx

RESUMEN

El 73 % del territorio de la República Mexicana se utiliza para las actividades agropecuarias, con el 58 % de la superficie empleado como agostaderos, en donde la producción de bovinos se basa en pastoreo y aunque la producción bovina extensiva es una de las que mayores emisiones de gases efecto invernadero (GEI) produce, también es la que mayor capacidad de mitigación tiene. El potencial de mitigación en sistemas de producción bovina puede ser mayor de 20-40 % de los niveles actuales, siempre que se puedan adaptar prácticas destinadas a mejorar el manejo de las praderas, la alimentación de los animales y mejoramiento genético. La ganadería extensiva tiene un gran potencial de secuestro de carbono a través de las praderas. El potencial de mitigación del impacto ambiental, y no solo de las emisiones, puede ser mayor en los sistemas en pastoreo si se toman en cuenta todos los posibles servicios ambientales que estos prestan. Lograr un balance en la emisión y mitigación a nivel individual (animal), de granja y cadena productiva hará que los sistemas de producción bovina sean más eficientes y sustentables a largo plazo, permitiendo reducir la emisiones de gases de efecto invernadero, garantizando el bienestar del ecosistema y de las poblaciones rurales.

Palabras clave: Cambio climático, producción ganadera, gases efecto invernadero, metano.

ABSTRACT

Cattle production in Mexico uses nearly 58 % of the territory, which makes it mainly extensive. Despite being the main origin of greenhouse gases (GHG), extensive cattle production has a high mitigation potential (20-40 % of current levels) if practices such as pasture management, adequate nutritional management and genetic selection are implemented. Furthermore, grasslands and pastures used in extensive production systems have a role to play in carbon sequestration which would help balance the impact of such systems in the environment. However, in order to adequately account for emission of cattle production systems, environmental services that these production systems provide need to be also

Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 2, febrero. 2018, pp: 46-51.

Recibido: diciembre, 2017. **Aceptado:** febrero, 2018.

recorded. Additionally, work on individual mitigation at animal level is still the main focus of most of research carried out to reduce environmental impact of cattle production. Researchers can now work on determining effective GHG mitigation methods and strategies at animal and farm levels to allow cattle production systems sustainability in the long term. The strategies developed need to minimise environmental impact of cattle production striking a balance between productivity, ecosystemic health and wellbeing of farmers and local communities

Keywords: Climate change, livestock production, greenhouse gases, methane.

Importancia de la ganadería bovina en México

México tiene un territorio de 198 millones de hectáreas (mHa), de las cuales 145 mHa (73 %) se dedican a la actividad agropecuaria (30 mHa (15 %) tierras de cultivo y 115 mHa (58 %) agostaderos) y 45 mHa (22.7 %) son de bosques y selvas (FAO, 2017). En 2016, de la población total de bovinos (33,779,290 cabezas), 7.4 y 92.6 % se destinaron a la de producción de leche y carne, respectivamente, y 62.5 % de la producción nacional de carne de bovino se concentró en diez entidades: Veracruz (13.4 %), Jalisco (11.5 %), Chiapas (6.1 %), San Luis Potosí (5.5 %), Sinaloa (4.9 %), Baja California (4.8 %), Durango (4.5 %), Michoacán (4.1 %), Chihuahua (4.0 %) y Sonora (3.7 %) (SAGARPA, 2017). Los estados con mayor producción de leche son Jalisco (19 %), Coahuila (12 %), Durango (10 %) y Chihuahua (9 %) (SIAP-SAGARPA, 2017).

La FAO (2016) estima que el crecimiento de la población humana mundial llegará a 9,600 millones en el 2050, con el doble de poder adquisitivo para el consumo de carne y derivados lácteos. Por lo que los sistemas agrícolas deben ser más eficientes y sustentables con el medio ambiente, permitiendo reducir la emisiones de gases de efecto invernadero, garantizando el bienestar del ecosistema y de las poblaciones rurales.

Ganado bovino como fuente de GEI

Un problema importante que enfrenta nuestro planeta es el cambio climático que se ha asociado a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) provenientes de actividades antropogénicas. El efecto invernadero es causado por el aumento en el aire de gases que impiden la salida del calor al espacio exterior, incrementando la temperatura del planeta. Los GEI son principalmente el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O). El CO₂ es el gas más abundante y el que más aporta al calentamiento global (FAO, 2016). El CH₄, segundo GEI en importancia, ha causado deterioro de la capa de ozono y posee 25-28 veces el potencial de calentamiento global con respecto al CO₂. Las fuentes principales son actividades humanas como la agricultura (fermentación entérica y producción de arroz) y uso y extracción de combustibles fósiles (Lassey *et al.*, 2008). La ganadería es responsable del 53 % del CH₄ antropogénico del total del sector agrícola, proveniente principalmente de la digestión entérica de los rumiantes (Charmley *et al.*, 2016). El CO₂, no se considera en la contabilidad del sector, debido a que su emisión por los animales se considera parte del

ciclo natural del carbono del planeta. El N₂O se asocia a las actividades agrícolas y manejo de excretas. Los rumiantes tienen un sistema digestivo que les permite utilizar diferentes alimentos y fermentarlos hasta piruvato, ácidos grasos volátiles, CH₄, masa microbiana y CO₂. La producción de CH₄ en el rumen se da mediante la siguiente reacción: CH₃COO⁻ + H⁺ a CH₄ + CO₂; realizada por microorganismos metanogénicos (Archeas) y es una vía importante para reducir la concentración de hidrogeniones en el rumen. Las emisiones de CH₄ por los rumiantes, representan una pérdida de energía neta de 2 a 12 % (Histrov *et al.*, 2015). Las estimaciones de producción mundial de CH₄ entérico por los rumiantes es de 80 millones de toneladas al año, lo que contribuye al 28 % del total de las emisiones de CH₄ antropogénico (Beauchemin *et al.*, 2008). Las emisiones de GEI originadas por las actividades del sector agropecuario de México en el año 2010 se estimaron en 92,184.5 Giga gramos (Gg) de CO₂ equivalente (CO₂eq). La contribución de la ganadería representa 49.4 % del total del sector (37,961.5 y 7,553.5 Gg CO₂eq por fermentación entérica y manejo de estiércol respectivamente). Las emisiones promedio de CH₄ para este periodo se estimaron en 39,247 Gg. De esta cantidad 97 % se originaron por fermentación entérica y 3 % por manejo del estiércol (SEMARNAT, 2013). En este sentido, se estima que la emisión de CH₄ de un bovino productor de leche en lactancia es de 369 g día⁻¹ y de un bovino productor de carne de 323 g día⁻¹ (Garnsworthy *et al.*, 2012). Con relación a ovinos y caprinos la emisión de CH₄ es de 21.9 y 13.74 g día⁻¹ por animal respectivamente (Sejian *et al.*, 2011).



Ganado bovino como parte de la solución al cambio climático

Los rumiantes, principalmente los bovinos, son vistos como una de las principales fuentes de GEI provenientes del sector agropecuario (FAO, 2016). Sin embargo, hay que tomar esto con cuidado. Es cierto que los bovinos son los principales emisores debido a los procesos fermentativos mencionados, pero este proceso es parte fundamental de su fisiología digestiva, *i.e.* fermentación de carbohidratos estructurales. Gracias a esto, los bovinos, y en general los rumiantes, representan una de las mejores fuentes de proteína para el humano, ya que al consumir pastos o forrajes (Makkar, 2017), no compiten directamente con el humano por alimento. Dentro de los sistemas de producción bovina en México, están los bovinos especializados en producción de leche, de carne y los de doble propósito (DP). Además de las obvias diferencias en cuanto al producto final, los sistemas de manejo asociados son muy distintos, lo que impacta en el volumen de emisión de cada sistema (FAO, 2016; INECC, 2016). Según estimaciones actuales, la mayoría de las emisiones de GEI provienen de sistemas de producción extensivos o semi-intensivos (*i.e.* $\text{CH}_4 = 80\%$; INECC, 2016), dentro de los cuales encontramos a los bovinos de DP y de cría, cuya alimentación se basa en forraje de calidad variable con poca suplementación, requiriendo "grandes" extensiones para su cría y mantenimiento (FAO, 2016). Por otro lado, tenemos a los bovinos especializados en la producción de leche, los cuales son responsables de la quinta parte de las emisiones de GEI en nuestro país (INECC, 2016). Similar a lo observado en el sistema de producción de leche, el sistema de ganado de engorda en corrales o en sistemas intensivos, también cuenta con manejos estandarizados que buscan la finalización del animal (peso al sacrificio) lo más rápido posible, lo que hace que las dietas sean balanceadas con alto contenido de granos y bajo contenido de forrajes, esto hace que las emisiones sean menores debido a la modificación fisiológica de rumen con un incremento en la producción de propionato en lugar de acetato o butirato (Histrov *et al.*, 2015). Por lo que los sistemas intensivos parecen ser, en general, más eficientes en la producción de un kg de proteína, que los sistemas extensivos ($\text{kg CO}_2\text{eq kg}^{-1}$ de proteína = intensidad de emisión) (Gerber, 2013; GRA, 2014; Herrero *et al.*, 2013). En éste sentido, se considera que los sistemas de producción de leche son más eficientes (84 $\text{kgCO}_2\text{eq/kg prot}$, rango: 12-140 $\text{CO}_2\text{eq/kg prot}$) que los de carne (342 $\text{kgCO}_2\text{eq/kg prot}$, rango: 58-1000 + $\text{kgCO}_2\text{eq/kg prot}$; Herrero *et al.*, 2013), sin embargo hay una gran variación en la in-

tensidad de producción de estos últimos. Por lo anterior, existe una creencia en diversos foros del sector pecuario que la forma de reducir el impacto ambiental, *i.e.* reducir emisiones de GEI, es la intensificación de los sistemas. En el caso del ganado de engorda para carne, lo anterior pareciera aplicar, ya que entre más rápido un animal alcance el peso final requerido menor emisión de GEI, a pesar de que a mayor consumo generalmente se incrementa el nivel de emisión, pero por la reducción en el número de días en engorda el impacto sería menor. Mismos argumentos son ofrecidos por los productores lecheros intensivos. Sin embargo, hay que recordar que a pesar que lo anterior es cierto, los sistemas intensivos son altamente dependientes de insumos externos, por lo que, sólo considerar los niveles o intensidades de emisión de la unidad de producción, sin considerar las emisiones generadas por todos los eslabones de la cadena de provisión de insumos subestima las emisiones reales (Crosson *et al.* 2011; Gerber *et al.*, 2013). De hecho, gran parte de las emisiones generadas por estos sistemas, no están dentro de ellos sino que son exportadas a otros sectores. Un cierto grado de intensificación será necesario, pero más enfocado a la mejora en la eficiencia productiva de los sistemas existentes y no necesariamente la intensificación de ellos. Esta y una serie de alternativas para el manejo de la disponibilidad alimenticia y reducción del desperdicio de comida son planteadas como posibles soluciones al problema de la seguridad alimentaria en el estudio de Smith (2013).

Se han planteado varias posibles soluciones a nivel individual y a nivel hato que pudieran contribuir a mejorar la eficiencia productiva y reducir el impacto de la ganadería bovina. Una gran parte de la investigación tiene un enfoque individual, basado en la modificación de las poblaciones ruminales (disminución de Archeas) o en manejos nutricionales que permitan disminuir las emisiones de CH_4 . El razonamiento es que, si logramos reducir la emisión a nivel individual, esto se verá reflejado en una disminución a nivel hato (Knapp *et al.*, 2014). A pesar de que muchas de estas estrategias son prácticas y eficientes para reducir la emisión de CH_4 a corto, e incluso mediano plazo, el rumen termina por adaptarse y recuperar gran parte de su capacidad fermentativa (Knapp *et al.*, 2014). La emisión de CH_4 está muy relacionada con el nivel de consumo (Knapp *et al.*, 2014; Ku Vera *et al.*, 2017) lo que hace que la fuente de alimento y, sobretudo, la calidad de este, impacte el volumen de emisión. Por lo que se ha planteado mejorar la calidad de los forrajes como una alternativa de mitigación, implementando

manejos (cosecha de forrajes "jóvenes", selección de mejores pastos o métodos de preservación adecuados) que permitan incrementar o mantener la digestibilidad de los nutrientes, mejorar su utilización y por tanto incrementar la eficiencia alimenticia (Knapp *et al.*, 2014; Ku Vera *et al.*, 2017). Como se mencionó, la producción de CH₄ es considerada una pérdida energética (Knapp *et al.*, 2014; Histrov *et al.*, 2015; Ku Vera *et al.*, 2017) por lo que uno de los argumentos para su reducción es la mejora en la eficiencia energética del animal. Sin embargo, reportes recientes (Garnsworthy, 2015) indican que la disminución en la producción entérica de CH₄ tiene un impacto pequeño en la eficiencia energética total del animal. Esto demuestra que existen aspectos de la dinámica ruminal que aún deben ser estudiados para poder entender la función integral del rúmen y la interacción entre los microorganismos ruminales y el animal (hospedero). Varios estudios han demostrado una gran variabilidad individual en cuanto a los niveles de emisión de CH₄ (Garnsworthy *et al.*, 2012; Bell *et al.*, 2014), probablemente relacionada a la selección del alimento durante el pastoreo, velocidad de paso de la ingesta, e incluso, interacciones entre los microorganismos y el animal (Hammond *et al.*, 2016). Debido a esta variación se ha propuesto a la selección genética como otra estrategia de mitigación (deHaas *et al.*, 2010, Garnsworthy *et al.*, 2012), misma que se ha evaluado en nuestro país. Resultados de estudios con ganado lechero de doble propósito (Holstein × Cebú y/o Suizo × Cebú) y especializado de raza pura (Holstein), muestran una heredabilidad para la producción de CH₄ cercana al 0.24 (Román-Ponce *et al.*, 2017), lo que podría abrir la puerta para la elaboración de un índice de selección. Así mismo, se ha mostrado que la selección genética para una menor producción de CH₄ podría ocasionar una selección para un menor consumo, ya que ambos parámetros están altamente relacionados (Knapp *et al.*, 2014; Garnsworthy *et al.*, 2015). Por tanto, la construcción de un índice de selección debe hacer énfasis en varias características productivas y reproductivas de manera simultánea, lo que favorecería la selección de animales con menor consumo y menos emisión de CH₄, sin afectar la producción (FAO, 2015; GRA, 2014). La selección de animales con baja emisión de CH₄ no es la única forma en la que la selección genética ayudaría a reducir el impacto de la ganadería bovina, ya que la selección de animales adaptados a ciertos ambientes o sistemas de producción también representa uno de los métodos de mitigación a nivel hato (GRA, 2014; FAO, 2015). Esto es, que los animales empleados en los sistemas de producción, deberán ser los mejor adaptados a las condiciones del rancho o granja, y no viceversa (Hayes *et al.*, 2013; FAO, 2015). Otros aspectos importantes para lograr una mejor eficiencia de producción con un menor impacto sobre el ambiente son el manejo sanitario y la eficiencia reproductiva. La OIE estima que cerca de una quinta parte de la producción animal se pierde por causa de un manejo sanitario inadecuado (presentación de enfermedades infecciosas y no infecciosas; Grace *et al.*, 2015) lo que implica que se requieran un mayor número de animales para poder mantener los niveles de producción requeridos. Por lo que, medidas de manejo sanitario que previenen la presentación de enfermedades reducen la mortalidad e incrementan la vida productiva de los animales, lo que se refleja en un sistema más eficiente de producción (GRA, 2014). De la misma manera, la eficiencia reproductiva en el hato es un buen indicador de la eficiencia productiva, ya que indica cuantos animales son necesarios para mantener cierto nivel de

producción. La intensidad de emisión a nivel de granja no sólo toma en cuenta a los animales en producción, sino también a los "no productivos", por lo que una baja eficiencia reproductiva se ve reflejada en una elevada intensidad de emisión (Garnsworthy *et al.*, 2004). En México, la eficiencia reproductiva del hato nacional en sistemas en pastoreo es cercana al 40 % (Gutiérrez-Aguilar, comunicación personal), con cerca de un 30 % de vacas vacías pero ciclando. Esto indica que hay un gran campo de acción en cuanto al manejo reproductivo del hato nacional que nos permita reducir el número de animales o bien producir más con el número que actualmente existe. Otro aspecto importante a considerar es que a pesar que la producción bovina extensiva es una de las que mayores emisiones produce, también es la que mayor capacidad de mitigación tiene (Gerber *et al.*, 2013; McGinn *et al.*, 2014; Henderson *et al.*, 2015; De Figuereido *et al.*, 2016). La FAO menciona que el potencial de mitigación en sistemas de producción bovina puede estar entre el 20 y 40 % de los niveles actuales, siempre que se puedan adaptar prácticas de manejo destinadas a mejorar el manejo de las praderas, la alimentación de los animales y mejoramiento genético (FAO, 2016). El reporte presentado por Herrero *et al.* (2016) menciona que uno de los puntos más importantes para la ganadería extensiva es el potencial de secuestro de carbono de las praderas, asociadas con el manejo de las mismas, siempre que no haya cambio en el uso de suelo (*i.e.* deforestación). El potencial de secuestro de carbono en las praderas podría representar hasta un 8 % de mitigación de las emisiones de las cadenas productivas del sector (Gerber *et al.*, 2013),

en especial si se mejora el manejo (*i.e.* reducir el sobrepastoreo) y se seleccionan variedades adecuadas para cada ambiente. El potencial de mitigación del impacto ambiental, y no solo de las emisiones, puede ser mayor en los sistemas en pastoreo si se toman en cuenta todos los posibles servicios ambientales que estos prestan. Los sistemas de producción bovina establecidos son parte del ecosistema (paisaje), por lo que no es concebible que desaparezcan (Broom *et al.*, 2013). Mientras la frontera ganadera no sea extendida, los sistemas de producción ganadera extensivos son capaces de volverse sostenibles en el largo plazo (Murgueitio, 2011; Broom *et al.*, 2013). Un ejemplo de esto son los sistemas silvopastoriles que incorporan el uso de gramíneas, arbustivas y árboles (Murgueitio, 2011), lo que genera una mayor disponibilidad de forraje, menor uso de agua y un incremento en la biodiversidad, mejorando o manteniendo la producción (Broom *et al.*, 2013). Este tipo de sistemas muestran que uno de los cambios necesarios para reducir el impacto de la ganadería bovina sobre el ambiente es la modificación del enfoque productivo de uno de volumen (*i.e.* cada vez más carne o leche por animal) por uno interesado en la sostenibilidad a largo plazo (*i.e.* producción más eficiente con menor uso de recursos). Esto implica que la selección de animales y los manejos productivos estén enfocados en lo que requiere la unidad de producción o región. Además se deben considerar los aspectos socioeconómicos de los productores para poder plantear mejoras en la eficiencia de producción, ya que si no implican incrementos en la calidad de vida del productor, es muy probable que no sean implementadas.

CONCLUSIONES

La base de la ganadería en el mundo y en México son los sistemas basados en pastoreo y aunque se ha establecido que es de las principales fuentes de emisión de gases efecto invernadero, también es la que mayor capacidad de mitigación tiene (20 y 40 %) a través del secuestro de carbono de las praderas, la alimentación de los animales y mejoramiento genético. El potencial de mitigación del impacto ambiental, y no solo de las emisiones, puede ser mayor en los sistemas en pastoreo si se toman en cuenta todos los servicios ambientales ofrecidos. Es importante seguir evaluando las emisiones de metano (CH₄) en los diferentes sistemas de producción utilizando técnicas *in vivo* e *in vitro* que permitan estimar la eficiencia de las estrategias de mitigación de la metanogénesis ruminal. Algunas estrategias para reducir la emisión de CH₄ son

muy eficientes a corto o mediano plazo, pero el rumen termina por adaptarse y recuperar su capacidad fermentativa. Lograr un balance en la emisión y mitigación a nivel individual (animal), de granja y cadena productiva hará que los sistemas de producción bovina sean más eficientes y sustentables a futuro, permitiendo reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, garantizando el bienestar del ecosistema y de las poblaciones rurales.

LITERATURA CITADA

- Beauchemin K.A., Kreuzer M., O'Mara F., McAllister T.A. 2008. Nutritional management for enteric methane abatement: A review. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48: 21-27.
- Bell M.J., Potterton S.L., Craigon J., Saunders N., Wilcox R.H., Hunter M., Goodman J.R., Garnsworthy P.C. 2014. Variation in enteric methane emissions among cows on commercial dairy farms. *Animal* 8(9): 1540-1546.
- Bonilla C.J.A., Lemus F.C. 2012. Emisión de CH₄ entérico por rumiantes y su contribución al cambio climático y al calentamiento global. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 3(2): 215-246.
- Broom D.M., Galindo F.A., Murgueitio E. 2013. Sustainable, efficient livestock production with high. *Proceedings of the Royal Society B. Biological Science* 280: 2013-2025.
- Chagunda M.G.G., Ross D., Roberts D.J. 2009. On the use of a laser methane detector in dairy cows. *Computers and Electronics in Agriculture* 68:157-160.
- Charmley E., Williams R., Moate O., Hegarty R., Herd R., Oddy H., Reyenga P., Staunton K., Anderson A., Hannah M. 2016. A universal equation to predict methane production of forage-fed cattle in Australia. *Animal Production Science* 56: 2-3.
- Crosson P., Shalloo L., O'Brien D., Lanigan G.J., Foley P.A., Boland T.M., Kenny D.A. 2011. A review of whole farm systems models of greenhouse gas emissions from beef and dairy cattle production systems. *Animal Feed Science and Technology*. 166-167: 29-45.
- de Figueiredo E.B., Jayasundara S., Oliveira B.R., Berchielli T.T., Andrade R.R., Wagner-Riddle C., La Scala J.N. 2017. Greenhouse gas balance and carbon footprint of beef cattle in three contrasting pasture-management systems in Brazil. *Journal of Cleaner Production* 142: 420-431.
- de Haas Y., Windig J.J., Calus M.P.L., Dijkstra J., de Haan M., Bannink A., Veerkamp R.F. 2011. Genetic parameters for predicted methane production and potential for reducing enteric emissions through genomic selection. *Journal of Dairy Science* 94: 6122-34.
- FAO. 2015. Coping with climate change. The roles of genetic resources for food and agriculture. Rome, Italy.
- FAO. 2016. Climate is changing. Food and agriculture must change too. Rome, Italy.
- FAO. 2017. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible en: <http://www.fao.org/mexico/fao-en-mexico/mexico-en-una-mirada/en/> (diciembre 2017)
- Garnsworthy P.C. 2004. The environmental impact of fertility in dairy cows: a modelling approach to predict methane and ammonia emissions. *Animal Feed Science and Technology* 112(1-4): 211-223.
- Garnsworthy P.C., Craigon J., Hernandez-Medrano J.H., Saunders N. 2012a. On-farm methane measurements during milking correlate with total methane production by individual dairy cows. *Journal of Dairy Science* 95(6): 3166-3180.

- Garnsworthy P.C., Craigon J., Hernandez-Medrano J.H., Saunders N. 2012b. Variation among individual dairy cows in methane measurements made on farm during milking. *Journal Dairy Science* 95(6): 3181-3189.
- Garnsworthy P.C., Craigon J., Gregson E., Homer E., Potterton S., Bani P., Trevisi E., Huhtanen P., Shingfield K., Bayat A. 2015. Variability among dairy cows in methane, digestibility and feed efficiency. *Climate Smart Cattle Farming and Breeding, Annual Meeting of the European Association of Animal Science (EAAP)*, Vasovia, Polonia. Disponible en: http://www.eaap.org/AnnualMeeting/2015_warsaw/S08_07.pdf
- Gerber P.J., Steinfeld H., Henderson B., Mottet A., Opio C., Dijkman J., Falcucci A., Tempio G. 2013. Tackling climate change through livestock. A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rome, Italy.
- Global Research Alliance (GRA) on Agricultural Greenhouse Gases. 2014. Reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero de la ganadería: Mejores prácticas y opciones emergentes. New Zealand Agricultural Greenhouse Gas Research Centre. Palmerston, New Zealand.
- Grace D, Bett B, Lindahl J, Robinson T. 2015. Climate and livestock disease: assessing the vulnerability of agricultural systems to livestock pests under climate change scenarios. CCAFS Working Paper no. 116. Copenhagen, Denmark. CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS). Available online at: www.ccafs.cgiar.org
- Hammond K.J., Crompton L.A., Bannink A., Dijkstra J., Yáñez-Ruiz D.R., O'Kiely P., Kebreab E., Eugène M.A., Yu Z., Shingfield K.J., Schwarm A., Hristov A.N., Reynolds C.K. 2016. Review of current *in vivo* measurement techniques for quantifying enteric methane emission from ruminants. *Animal Feed Science and Technology* 219: 13-30.
- Hayes B.J., Lewin H.A., Goddard M.E. 2013. The future of livestock breeding: genomic selection for efficiency, reduced emissions intensity, and adaptation. *Trends in Genetics* 29(4): 206-214.
- Henderson B.B., Gerber P.J., Hilinski T., Falcucci A., Ojima D.S., Salvatore M., Conant R.T. 2015. Greenhouse gas mitigation potential of the world's grazing lands: modeling soil carbon and nitrogen fluxes of mitigation practices. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 207: 91-100.
- Herrero M., Havlik P., Valin H., Notenbaert A., Rufino M.C., Thornton P.K., Blümmel M., Weiss F., Grace D., Obersteiner M. 2013. Biomass use, production, feed efficiencies, and greenhouse gas emissions from global livestock systems. *Proceedings of the National Academy of Science of the USA* 110(52): 20888-20893.
- Herrero M., Henderson B., Havlik P., Thornton P.K., Conant R.T., Smith P., Wirsenius S., Hristov A.N., Gerber P., Gill M., Butterbatch-Bahl K., Valin H., Garnett T., Stehfest E. 2016. Greenhouse gas mitigation potentials in the livestock sector. *Nature Climate Change* 6: 452-461.
- Histrov A.N., Oh J., Giallongo F., Frederick T.W., Harper M.T., Weeks H.L., Branco A.F., Moate P.J., Deighton M.H., Williams S.R.O., Kindermann M., Duval S. 2015. An inhibitor persistently decreased enteric methane emission from dairy cows with no negative effect on milk production. *Proceedings of the National Academy of Science of the USA* 112(34): 10663-10668.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) – SEMARNAT. 2016. Inventario Nacional de Emisiones y Compuestos de Gases de Efecto Invernadero. Consultado el 25 de Noviembre de 2017. Disponible en: http://www.inecc.gob.mx/descargas/adaptacion/2015_indc_esp.pdf
- Knapp J.R., Laur G.L., Vadas P.A., Weiss W.P., Tricarico J.M. 2014. Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *Journal of Dairy Science* 97(6): 3231-3261.
- Ku Vera J.C., Juárez Lagunes F.I., Mendoza Martínez G.D., Romano Muñoz J.L., Shimada Miyasaka A.S. 2015. Alimentación del ganado bovino en las regiones tropicales de México. En: Libro Técnico - Estado Del Arte sobre Investigación e Innovación Tecnológica en Ganadería Bovina Tropical, González Padilla E, Dávalos Flores JL, eds. Red Gatro – CONACYT. Talleres de Impresión D&D Internacional, Ciudad de México, México. pp: 69-98.
- Ku Vera J.C., Piñeiro Vázquez A.T., Valencia Salazar S.S., Molina Botero I.C., Arroyave Jaramillo J., Arceo Castillo J.I., Canul Solís J.R., Ramírez Cancino L., Escobar Restrepo C.S., Lazos Balbuena F.J., Alayón Gamboa J.A., Montoya Flores M.D., Moreno Sabogal H.Y., Zavala Escalante L.M., Castelán Ortega O.A., Quintana Owen P., Solorio Sánchez F.J., Aguilar Pérez C.F., Ayala Burgos A.J., Ramírez Avilés L. 2017. Mitigación de CH₄ entérico en bovinos alimentados con pastos tropicales. En: Producción Animal en los Ecosistemas de México, Sánchez Muñoz JB, Yamasaki Maza A, Pérez Luna EJ, León Velasco H, eds. Universidad Autónoma de Chiapas y Asociación Mexicana para la Producción Animal. Tuxtla Gutierrez, Chiapas. pp. 231-260.
- Lassey K.R. 2008.. Livestock methane emission and its perspective in the global methane cycle. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48: 114-118.
- Makkar H.P.S. 2017. Review: Feed demand landscape and implications of food-not feed strategy for food security and climate change. *Animal* 4: 1-11.
- Martin C., Morgavi D.P., Doreau M. 2010. Methane mitigation in ruminants: from microbe to the farm scale. *Animal* 4(3): 351-65.
- McGinn S.M., Beauchemin K.A., Coates T., McGeough E.J. 2014. Cattle methane emission and pasture carbon dioxide balance of a grazed grassland. *Journal of Environmental Quality* 43(3): 820-828.
- Murgueitio E. 2011. Retos y progresos de la ganadería sostenible. *Agricultura Sostenible*. 7: 45-54.
- Román Ponce S.I., Vega Murillo V.E., Ruiz Lopez F.J., Mejía Melchor E.I., Calderón Chagoya R. 2017. Reducir las emisiones de CH₄ mediante el mejoramiento genético. *Memorias del Taller Avances en Técnicas para Mitigar la emisión de Gases de Efecto Invernadero por Rumiantes en México*. Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Animal en Altiplano (CEIEPAA), FMVZ-UNAM, Tequisquiapan, Querétaro, México, 8 y 9 de Junio de 2017. pp: 46-50.
- SAGARPA. 2017 Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Disponible en <https://www.gob.mx/siap/documentos/poblacion-ganadera-136762?idiom=es>.
- Sejian V, Lal R, Lakritz J., Ezeji T. 2011. Measurement and prediction of enteric methane emission. *International Journal of Biometeorology* 55: 1-16.
- SEMARNAT. 2013. Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2010. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos. México. pp. 384. Disponible en: http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/inf_inegei_public_2010.pdf
- Smith P. 2013. Delivering food security without increasing pressure on land. *Global Food Security* 2(1): 18-23.

PRODUCCIÓN DE GAS Y METANO DE SUBPRODUCTOS AGRÍCOLAS EN LA ALIMENTACIÓN DE RUMIANTES

PRODUCTION OF GAS AND METHANE FROM AGRICULTURAL BYPRODUCTS IN RUMINANT DIETS

Curzaynz-Leyva, K.R.¹; Escobar-España, J.C.¹; Santillán-Gómez, E.A.¹; Tapia-Díaz, L.¹; Parral-Herrera, E.¹; Bárcena-Gama, J.R.^{1*}

¹Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Programa de Ganadería. Carretera Federal México-co-Textcoco km 36.5. Montecillo, Textcoco, Estado de México.

*Autor de correspondencia: rbarcena@colpos.mx

RESUMEN

Una de las estrategias para disminuir la emisión de gases efecto invernadero (GEI) en el sector agropecuario sobre todo en rumiantes, es ofrecer alimentos que disminuyan la producción, y por ende las emisiones de estos gases por el ganado. Es pertinente conocer y tomar en cuenta la producción de metano que tienen los ingredientes comúnmente utilizados en la alimentación de rumiantes, para que la energía y proteína que contengan se relacione con el potencial metanogénico. Los alimentos que se utilizan en la alimentación de rumiantes proporcionan nutrientes según sus características que derivan en una diferente proporción de los productos finales de la fermentación (H_2 y CH_4). Existen diversas estrategias para la mitigación de metano en rumiantes, entre ellas: la composición de la dieta, el uso de lípidos, defaunación de protozoarios ruminales, vacunas metanógenas, el uso de monensina, compuesto naturales de plantas y ácidos orgánicos. En general la fermentación acética (comúnmente generada por ingredientes fibrosos) produce mayores cantidades de CH_4 al disponer los metanógenos de más H_2 , conjugado con el ambiente anaerobio ruminal (CO_2), mientras que los granos y los ingredientes proteicos (aunque dependerá de su contenido de fibra) propician una fermentación propionica, disminuyendo según reportes hasta en 15 % la producción de CH_4 .

Palabras clave: Cambio climático, rumiantes, gases efecto invernadero, ingredientes, alimentación.

ABSTRACT

One of the strategies to reduce the emission of greenhouse gases (GHG) in the agricultural and livestock production sector is to offer foods that decrease production, and therefore the emissions of these gases by livestock. It is pertinent to understand and take into account the methane production capacity of the ingredients commonly used in ruminant diets, in order to reduce the methanogenic potential. The foods that are used to feed ruminants provide nutrients according to their characteristics which derive into a different proportion of the final fermentation products: hydrogen ions (H_2) and methane (CH_4). There are several strategies for methane mitigation in ruminants, among them: diet composition, use of lipids, defaunation of ruminal protozoa, methanogenic vaccines, and use of monensin, natural plant compounds and organic acids. In general, acetic fermentation (when adding fibrous ingredients) produces greater amounts of CH_4 , while grains and protein ingredients promote propionic fermentation (although it will depend on their fiber content), which makes it possible to decrease CH_4 production up to 15%.

Keywords: Climate change, ruminants, greenhouse gases, ingredients, animal nutrition.

Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 2, febrero. 2018, pp: 52-56.

Recibido: diciembre, 2017. **Aceptado:** febrero, 2018.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se ha incrementado la emisión de gases efecto invernadero (GEI) en todo el mundo, mencionándose que la ganadería es uno de los principales productores de estos gases, debido a la producción de metano entérico, dióxido de carbono (CO₂) e hidrógeno, que son los principales gases que contribuyen al calentamiento global (Rangubhet *et al.*, 2017). Se han propuesto estrategias para disminuir la emisión de estos gases en el sector agropecuario sobre todo en rumiantes. Una de las estrategias es ofrecer alimentos que disminuyan la producción, y por ende las emisiones de estos gases por el ganado. El uso de los subproductos agroindustriales, como alimento para el ganado, pueden ser una opción viable debido al precio y calidad nutrimental de estos. Algunos estudios han reportado que ciertos subproductos pueden disminuir el número de protozoarios y arqueas metanogénicas, relacionándolas con la disminución en la producción de metano (Abubakr *et al.*, 2014). Además, es pertinente conocer y tomar en cuenta la producción de metano que tienen los ingredientes comúnmente utilizados en la alimentación de rumiantes, para que la energía y proteína que contengan se relacione con el potencial metanogénico.

Importancia de la alimentación de rumiantes en la producción de metano

Los alimentos que se utilizan en la alimentación de rumiantes proporcionan nutrientes según sus características que derivan en una diferente proporción de los productos finales de la fermentación (H₂ y CH₄) (Ramin y Huhtanen, 2013). La productividad del ganado en áreas tropicales y sub-tropicales generalmente es baja debido al bajo contenido nutricional de los alimentos disponibles, que en general son altamente lignificados, baja digestibilidad y pobre cantidad de Nitrógeno (Goel y Makkar, 2012). Estas condiciones propician baja productividad y, en consecuencia, altas emisiones absolutas de metano por unidad de producto (Aluwong *et al.*, 2011). Johnson y Johnson (1995), indicaron que las emisiones de metano, expresado como porcentaje del consumo de energía o por kg de materia seca consumida, son menores en ganado alimentado con dietas altas en concentrado que en forraje. Grainger y Beauchemin (2011) mencionaron que el tipo y nivel de grasa en la dieta puede ser el factor más importante que afecta la metanogénesis, y que un incremento del 5 al 6 % de grasa en la dieta disminuye la producción de metano en 5.1 % en el ganado. El contenido de grasa se asocia con la disminu-

ción de la digestión ruminal de la materia seca debido a que niveles altos de ácidos grasos resultan tóxicos para cierto tipo de bacterias y arqueobacterias, como las metanogénicas, y protozoarios, los que según Martin *et al.* (2010), su disminución frecuentemente se relaciona con una baja en la producción de metano en rumen.

Existen diversas estrategias para la mitigación de metano en rumiantes, estas pueden ser: la composición de la dieta, el uso de lípidos, defaunación de protozoarios ruminales, vacunas metanógenas, el uso de monensina, compuestos naturales de plantas y ácidos orgánicos (Hook *et al.*, 2010). De la energía total dada en la alimentación, alrededor de 2 a 12 % se pierde en forma de metano (Inamdar *et al.*, 2015). La alimentación a partir de subproductos generados de las cosechas es una actividad estrecha por los humanos y los sistemas de producción animal; la dependencia del uso de granos en la alimentación de rumiantes y el consumo por parte de los humanos son dos factores de competencia que limitan su uso como insumo en dietas para rumiantes. La alimentación de rumiantes para disminuir costos se basa, principalmente, en la disponibilidad local de subproductos alimenticios, como una práctica común, ya que los microorganismos del rumen pueden digerir gran cantidad de la fibra estructural de esos subproductos y pueden cubrir sus requerimientos de nutrientes para crecimiento, mantenimiento y reproducción; de ahí la necesidad de estudios, análisis, evaluación y caracterización de la gran cantidad y variedad de subproductos originados en la cosecha, agroindustria y producción de biodiesel (Paya *et al.*, 2012).

Para reducir las emisiones de GEI y la dependencia a los combustibles fósiles en las explotaciones ganaderas, los gobiernos han apoyado la producción de combustibles con fuentes renovables como el maíz y otros granos, lo cual lleva a un incremento exponencial de la producción de etanol. Los granos secos de destilaría (DDGS; por sus siglas en inglés) son el subproducto principal resultante de la producción de etanol, y por su alto contenido energético pueden sustituir mayormente a los granos (Klopfenstein *et al.*, 2008) y, en menor medida a los forrajes (Li *et al.*, 2011).

Producción de gases efecto invernadero de ingredientes utilizados en la alimentación de rumiantes

El contenido nutrimental de los ingredientes utilizados para formular las dietas en la alimentación de rumiantes

definen los patrones de fermentación y producción de AGV (Hook *et al.*, 2010), y cuyas proporciones individuales son influenciadas por la materia orgánica de las dietas, lo que está vinculado con la síntesis de CH₄ (Moss *et al.*, 2000).

Los DDGS son un subproducto que cada vez tienen mayor disponibilidad en muchos países debido al incremento en la producción de etanol. Su disponibilidad, contenido nutricional y precio, han sido objeto de investigación para su uso en la alimentación animal. Avila-Stagno *et al.* (2013) reportaron un incremento en la producción de CH₄ cuando incluyeron 40 % de DDGS, la cual relacionaron con la disminución de la DIVMS y el aumento en la producción de biogás total. Pecka-Kielb *et al.* (2015) indicaron que la producción de biogás aumenta cuando la dieta para corderos contiene 30 % de MS de DDGS, después de 24 h de incubación. Hünerberg *et al.* (2013) reportaron que la sustitución del 40 % de grano de cebada por DDGS incrementó el contenido de la grasa de la dieta en 5.4 % lo que redujo en 6.3 % la producción de CH₄ por cada unidad porcentual de la grasa y concluyeron que la producción de CH₄ dependerá directamente del contenido de grasa de los DDGS en respuesta a la adición de estos. La producción de CH₄ de ingredientes utilizados para la dieta de corderos las reportan Cobos *et al.* (2018) en el Cuadro 1, donde se puede observar que los DDGS y la pasta de soya tienen la mayor producción de CH₄ (mL) a las 72 h de incubación, a pe-

Cuadro 1. Producción de CH₄ *in vitro* por 100 mL de biogás de los ingredientes utilizados en dietas experimentales para corderos en crecimiento (Adaptado de Cobos *et al.*, 2018).

Ingredientes	Tiempo de Fermentación (h)		
	24	48	72
	CH ₄ , mL		
Grano de maíz	12.58 ^d	33.58 ^b	42.84 ^{bc}
Pasta de soya	25.39 ^{ab}	42.91 ^a	54.73 ^a
Rastrojo de maíz	27.54 ^{ab}	30.66 ^b	38.91 ^c
Salvado de trigo	21.85 ^{bc}	35.61 ^{ab}	29.21 ^d
DDGS [¶]	16.42 ^{cd}	31.09 ^b	56.84 ^a
Gluten de maíz	31.47 ^a	37.93 ^{ab}	49.21 ^{ab}
EEM [§]	1.37	1.95	1.76

[¶]DDGS: Granos secos de destilería; [§]EEM: Error estándar de la media. Literales diferentes en la misma columna indican diferencia significativa (P<0.05).

sar que, en general, otros reportes mencionan que los subproductos fibrosos producen, en promedio, mayor cantidad de CH₄ que los subproductos ricos en proteína.

Por ejemplo, la cascarilla de soya generó 52 mL g.MS. incubada⁻¹ de CH₄ mientras que los DDGS generan sólo 25.9 mL g.MS. incubada⁻¹ en fermentaciones *in vitro* (Cuadro 2), aunque en relación a la MS degradada el ensilado de maíz y la cascarilla de soya son los que mayor producción de CH₄ tienen, 58.8 y 60.2 mL g.MS. degradada⁻¹ (Chen *et al.*, 2016).

Cuadro 2. Producción de CH₄ de ingredientes incubados con líquido ruminal (Adaptado de Chen *et al.*, 2016).

Ingredientes	48 h de incubación	
	CH ₄ (mL g.MS.incubada ⁻¹)	CH ₄ (mL g.MS.degradada ⁻¹)
Grano de maíz	42.1 ^c	47.2 ^d
Grano de cebada	40.0 ^d	44.5 ^e
Grano de trigo	39.1 ^{de}	43.3 ^e
Salvado de trigo	36.7 ^f	51.5 ^{bc}
Cascarilla de soya	52.0 ^a	60.2 ^a
Pulpa de remolacha	46.4 ^b	53.6 ^b
DDGS [¶]	25.9 ⁱ	35.3 ^g
Pasta de soya	38.1 ^{def}	39.9 ^f
Pasta de canola	29.0 ^h	35.3 ^g
Heno de alfalfa	32.3 ^g	51.9 ^{bc}
Heno de pasto Bermuda	30.0 ^h	49.9 ^c
Ensilado de maíz	33.3 ^c	58.8 ^a
EEM [§]	1.16	0.91

[¶]DDGS: Granos secos de destilería; [§]EEM: Error estándar de la media. Literales diferentes en la misma columna indican diferencia significativa (P<0.05).

Mientras que Kim *et al.* (2013) reportan que los granos de cereales son los que más CH₄ producen a diferentes tiempos de incubación, aunque la pasta de soya se agrupo con esta característica, y la cascarilla de maíz es el que menor producción de CH₄ genera, agrupándose con los DDGS y el gluten de maíz, como lo muestra el Cuadro 3.

Los factores como el consumo de alimento, digestibilidad, estado fisiológico, especie, concentrados, relación forraje:concentrado pueden afectar la producción de metano entérico, el potencial de producción de metano de diferentes ingredientes usado en dietas para rumiantes, puede diferir debido a su composición nutricional, tipo de grano, procesamiento y digestibilidad, por lo

Cuadro 3. Producción de CH₄ de diferentes ingredientes a las 48 y 72 h de incubación.

Ingredientes	Porcentaje de CH ₄ del biogás producido	
	48 h de incubación	72 h de incubación
Grano de maíz	23.00 ^a	22.33 ^a
Grano de cebada	10.87 ^c	11.80 ^b
Grano de trigo	22.13 ^{ab}	24.20 ^a
EEM [§]	0.796	1.104
Salvado de trigo	4.71 ^{ab}	5.06 ^b
Cascarilla de maíz	0.53 ^b	0.69 ^f
EEM [§]	1.211	0.531
DDGS [¶]	8.98 ^{cd}	8.69 ^{bcd}
Pasta de soya	18.32 ^a	17.88 ^a
Pasta de canola	7.30 ^{de}	7.31 ^{bcde}
Pasta de semilla de algodón	3.86 ^f	4.08 ^e
Gluten de maíz	5.57 ^{ef}	5.51 ^{cde}
Pasta de coco	8.90 ^{cd}	9.75 ^{bc}
EEM [§]	0.769	0.963

[¶]DDGS: Granos secos de destilería; [§]EEM: Error estándar de la media. Literales diferentes en la misma columna indican diferencia significativa (P<0.05).

que la disminución de metano entérico se puede realizar con una selección de ingredientes alimenticios, para ser usados en el balanceo de dietas (Kim *et al.*, 2013).

Los subproductos agroindustriales derivados de la extracción de aceite de palma (*Elaeis guinnensis* Jacq.) como la torta de palmiste, torta decantada y aceite de palma usados en dietas para cabras pueden disminuir el número de protozoarios y arqueas metanogénicas en rumen, lo cual está asociado con la disminución en la producción de metano, y un incremento en la concentración de bacterias celulolíticas (Abubakr *et al.*, 2014).

La utilización de aceite de coco, puede disminuir la producción de CH₄ debido a su elevado contenido de ácidos grasos de cadena larga, cuyo perfil es el siguiente: mirístico (17 %), palmítico (9 %), esteárico (2.5 %), oleico (7 %) y linoleico (1.8 %) (Blas *et al.*, 2010).

Machmuller *et al.* (2000) reportan una reducción de 26 % de metano en corderos, sin afectar la digestibilidad de la MS, al incluir aceite de coco en su dieta. La inclusión de 7.5 % en el suplemento ofrecido a corderos, redujo 47.05 % la población de metanógenos ruminales (Galindo *et al.*, 2009); sin embargo, Jordan *et al.* (2006) encontraron que con la adición de 375 g día⁻¹ de aceite de coco en una dieta 50:50 forraje:concentrado, para ganado de carne, se redujo el consumo y la di-

gestibilidad de la dieta sin que haya disminuido la producción de CH₄ en forma proporcional. El efecto que tiene el aceite de coco en la población microbiana parece ser desfaunante, como lo reporta Méndez *et al.* (2012), quienes encontraron una disminución del 99,9 % de los protozoarios en los tratamientos con aceite de coco, sobre todo el que se adicionó 4 %. Resultados similares fueron publicados por Cieslak *et al.* (2006) quienes evaluaron la inclusión de aceite de coco en dietas para ovinos, indicando una reducción significativa en la población de protozoarios y de la población metanogénica en el rumen.

CONCLUSIONES

LOS ingredientes que se utilizan en la alimentación de rumiantes generan diferentes cantidades de CH₄ y al interactuar entre ellos en las dietas, se genera una eficiencia alimenticia que va rela-

cionada con la fermentación ruminal y la cantidad de metabolitos producidos en el rumen. El conocimiento del potencial metanogénico de los ingredientes utilizados para formular las dietas para rumiantes, con base en los requerimientos nutricionales del animal y la manipulación de la fermentación ruminal con los ingredientes disponibles, es de suma importancia para predecir la emisión de GEI y establecer las estrategias alimenticias para su reducción. En general la fermentación acética (comúnmente generada por ingredientes fibrosos) produce mayores cantidades de CH₄ al disponer los metanógenos de más H₂, conjugado con el ambiente anaerobio ruminal (CO₂), mientras que los granos y los ingredientes proteicos propician una fermentación propionica, disminuyendo la producción de CH₄.

LITERATURA CITADA

- Abubakr A., Alimon A. R., Yaakub H., Abdullah N., Ivan M. 2014. Effect of feeding palm oil by-products based diets on total bacteria, cellulolytic bacteria and methanogenic archaea in the rumen of goats. *PLoS ONE* 9: 1-6.
- Aluwong T., Wuyep P., Allam L. 2011. Livestock-environment interactions: Methane emissions from ruminants. *African Journal of Biotechnology* 10: 1265-1269.
- Avila-Stagno J., Chaves A.V., He M.L., McAllister T.A. 2013. Increasing concentrations of wheat dry distillers' grains with solubles in iso-nitrogenous finishing diets reduce lamb performance. *Small Ruminant Research* 114: 10-19.
- Blas C., Mateos G.G., García-Rebollar P. 2010. Ingredientes para piensos (Tablas FEDNA 2010). FEDNA. Madrid,

- España. Consultado en: <http://www.fundacionfedna.org/ingredientes-para-pensos>
- Chen C.N., Lee T. T., Yu B. 2016. Improving the prediction of methane production determined by *in vitro* gas production technique for ruminants. *Annals of Animal Science* 16: 565-584.
- Cieslak A., Szumacher-Strabel M., Szymankiewicz E., Piekniowski M., Oleszak P., Siwinski L., Potkanski A. 2006. Coconut oil reduces protozoa count and methane release during fermentation in a Rusitec system. *Journal Of Animal And Feed Sciences*, 15: 19-22.
- Cobos M. A., Curzaynz K. R., Rivas M. I., Santillán E.A., Bárcena J. R. 2018. Efecto *in vitro* de dietas para corderos suplementadas con granos secos de destilería en la fermentación ruminal y emisiones de gases. *Agrociencia. Remitido*.
- Galindo J., González N., Delgado D., Sosa A., González R., Torres V., Cairo J. 2009. Efecto del aceite de coco en la población de bacterias metanogénicas y su relación con otros grupos microbianos del rumen en condiciones *in vitro*. Consultado en: <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=193015425006>
- Goel G., Makkar H. P. S. 2012. Methane mitigation from ruminants using tannins and saponins. *Tropical Animal Health and Production* 44: 729-739.
- Grainger C., Beauchemin K. A. 2011. Can enteric methane emissions from ruminants be lowered without lowering their production? *Animal Feed Science and Technology* 166-167: 308-320.
- Hook S.E., Wright A.-D.G., McBride B.W. 2010. Methanogens: Methane Producers of the Rumen and Mitigation Strategies. *Archaea* 2010: e945785.
- Hünerberg M., McGinn S.M., Beauchemin K. A., Okine E. K., Harstad O. M., McAllister T. A. 2013. Effect of dried distillers' grains with solubles on enteric methane emissions and nitrogen excretion from finishing beef cattle. *Canadian Journal of Animal Science* 93: 373-385.
- Inamdar A.I., Chaudhary L.C., Agarwal N., Kamra D. N. 2015. Effect of *Madhuca longifolia* and *Terminalia chebula* on methane production and nutrient utilization in buffaloes. *Animal Feed Science and Technology* 201: 38-45.
- Johnson K. A., Johnson D. E. 1995. Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science* 73: 2483-2492.
- Jordan E., Lovett D.K., Hawkins M., Callan J.J., O'Mara F.P. 2006. The effect of varying levels of coconut oil on intake, digestibility and methane output from continental cross beef heifers. *Animal Science* 82: 859-865.
- Kim S.H., Mamuad L.L., Jeong C.D., Choi Y.J., Lee S.S., Ko J.Y., Lee S.S. 2013. *In vitro* evaluation of different feeds for their potential to generate methane and change methanogen diversity. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 26: 1698-1707.
- Klopfenstein T.J., Erickson G.E., Bremer V.R. 2008. Use of distillers by-products in the beef cattle feeding industry. *Journal of Animal Science* 86: 1223-1231.
- Li Y.L., McAllister T.A., Beauchemin K.A., He M.L., McKinnon J.J., Yang W.Z. 2011. Substitution of wheat dried distillers grains with solubles for barley grain or barley silage in feedlot cattle diets: Intake, digestibility, and ruminal fermentation. *Journal of Animal Science* 89: 2491-2501.
- Machmuller A., Ossowski D.A., Kreuzer M. 2000. Comparative evaluation of the effects of coconut oil, oilseeds and crystalline fat on methane release, digestion and energy balance in lambs. *Animal Feed Science and Technology* 85: 41-60.
- Martin C., Morgavi D.P., Doreau M. 2010. Methane mitigation in ruminants: from microbe to the farm scale. *Animal* 4: 351-365.
- Méndez M., Obispo N., Valdez M. 2012. Efectos de la desfaunación con aceite de coco (*Cocos nucifera*) sobre el ecosistema ruminal en ovinos. *Revista de La Facultad de Agronomía UCV* 38: 89-97.
- Moss A.R., Jouany J.P., Newbold J. 2000. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Annales de Zootechnie* 49: 231-253.
- Paya H., Taghizadeh A., Lashkari S., Shirmohammadi S. 2012. Evaluation of rumen fermentation kinetics of some by-products using *in situ* and *in vitro* gas production technique. *Slovak Journal of Animal Science* 45: 127-133.
- Pecka-Kielb E., Zawadzki W., Zachwieja A., Michel O., Mazur M., Miśta D. 2015. *In vitro* study of the effect of corn dried distillers grains with solubles on rumen fermentation in sheep. *Polish Journal of Veterinary Sciences* 18: 751-758.
- Ramin M., Huhtanen P. 2013. Development of equations for predicting methane emissions from ruminants. *Journal of Dairy Science* 96: 2476-2493.
- Rangubhet K.T., Mangwe M.C., Mlambo V., Fan Y.K., Chiang H.I. 2017. Enteric methane emissions and protozoa populations in Holstein steers fed spent mushroom (*Flammulina velutipes*) substrate silage-based diets. *Animal Feed Science and Technology* 234: 78-87.



CONSIDERACIONES DE BIENESTAR ANIMAL EN LAS ESTRATEGIAS PARA LA DISMINUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE METANO ENTÉRICO POR RUMIANTES

CONSIDERATIONS OF ANIMAL WELFARE IN STRATEGIES FOR THE DECREASE OF ENTERIC METHANE PRODUCTION BY RUMINANTS

Alejos-de la Fuente, J.I.¹; Almaraz-Buendía, I.²; Peralta-Ortiz, J.J.G.²; Sánchez-Santillán, P.³; Soriano-Robles, R.⁴; Torres-Cardona, M.G.^{2*}

¹Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Zootecnia. Carretera México-Texcoco km 38.5. Chapingo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230. ²Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Instituto de Ciencias Agropecuarias. Rancho Universitario. Carretera Tulancingo-Santiago Tulantepec km 1. Tulancingo, Hidalgo, México. C. P. 43600. ³Universidad Autónoma de Guerrero. Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia No. 2. Universidad Autónoma de Guerrero. Carretera Acapulco-Pinotepa Nacional km 197. Cuajinicuilapa, Guerrero, México. C. P. 41940. ⁴Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Av. San Rafael Atlixco 186, Col. Leyes de Reforma 1ra. Sección, Delegación Iztapalapa, Ciudad de México. C. P. 09340.

*Autor de correspondencia: maria_torres7599@uaeh.edu.mx

RESUMEN

Existe la necesidad de incrementar considerablemente la producción de alimentos para abastecer las necesidades de una población en constante crecimiento. Sin embargo, la actividad pecuaria es una de las principales generadoras de gases de efecto invernadero (GEI): dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), siendo el metano el más importante tanto por su impacto en el medio ambiente como por la cantidad producida por los rumiantes. Esta situación constituye uno de los grandes retos de la bioética global y ha conducido a la búsqueda de alternativas que permitan disminuir las emisiones de metano y por tanto su impacto en el medio ambiente. No obstante, algunas estrategias se contraponen con los principios de bienestar animal, ocasionando algún daño a los rumiantes y a la salud humana. En este documento se hace un breve análisis de algunas estrategias y su impacto en el bienestar de los rumiantes.

Palabras clave: Cambio climático, gases de efecto invernadero (GEI), metano, mitigación, rumiantes, bienestar animal.



Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 2, febrero. 2018, pp: 57-63.

Recibido: diciembre, 2017. **Aceptado:** febrero, 2018.

ABSTRACT

There is a need to significantly increase food production to meet the needs of a population in constant growth. Nevertheless, livestock activity is one of the main generators of greenhouse gases (GHG): carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O), with methane being the most important both for its impact on the environment and for the amount produced by ruminants. This situation is one of the great challenges of global bioethics and has led to the search for alternatives that allow reducing methane emissions and therefore their impact on the environment. However, some strategies are in conflict with the principles of animal welfare, causing some damage to ruminants and human health. This document makes a brief analysis of some strategies and their impact on the welfare of ruminants.

Keywords: Climate change, greenhouse effect gases (GHG), methane, mitigation, ruminants, animal welfare.

INTRODUCCIÓN

Sin duda, la producción de alimentos en general, y de origen animal en particular, vincula a uno de los más grandes retos de la bioética global, en virtud del impacto que la actividad ganadera per se genera y por lo cual muy a menudo se le considera como una actividad insostenible: emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), consumo de agua, erosión del suelo, reducción de la biodiversidad, cambio climático, acidificación terrestre, eutrofización del agua dulce, cambio en el uso del suelo, agotamiento del agua y demanda acumulada de energía fósil por unidad de producto generado, entre otros (Llonch *et al.*, 2017; Giuseppe *et al.*, 2017). No obstante, existe la necesidad de incrementar la producción de alimentos para abastecer las necesidades de una población en constante crecimiento, en tanto no se opte a nivel global por un estilo de alimentación diferente al actual, en el que los productos y subproductos pecuarios se incluyan en menor cantidad.

A lo largo del proceso productivo, la ganadería es una fuente importante de emisión de gases de efecto invernadero (GEI), generando principalmente dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). Tales

GEI se producen, ya sea de manera directa a través de la fermentación entérica o el estiércol; o de manera indirecta por las actividades desarrolladas durante la producción de alimentos y la conversión de bosques en pastizales (Guyader *et al.*, 2016; Hristov *et al.*, 2013; Morgavi *et al.*, 2010).

Actualmente el bienestar animal es un criterio de sustentabilidad, ya que los animales que se crían bajo sistemas de producción que les permitan un equilibrio físico, emocional y comportamental, no solo tienen una mejor calidad de vida, muestran también un mejor estado de salud y un uso más eficiente de los recursos (reducción de costos veterinarios, aumento del rendimiento animal, mejora de la calidad de los productos y mantenimiento de estándares higiénicos de producción de alimentos), mostrando así una productividad más eficiente, lo que reduce la huella de carbono originada por la actividad pecuaria (Broom *et al.*, 2013; Giuseppe *et al.*, 2017; Llonch *et al.*, 2017). El bienestar animal está inmerso en un término de actualidad y de importancia mundial: la "bioética global", la cual se plantea metas que tienen que ver con la salud pública global (una sola salud, "One Health"), autocomprensión de la cultura y persecución del bien social que coinciden con una "ecologización" o vuelta de la bioética hacia el medio ambiente y la valoración de la biodiversidad. Recientemente se ha acuñado también el concepto de "Un solo Bienestar" (One Welfare) en el cual se reconocen las interconexiones entre el bienestar animal, el bienestar humano y el medio ambiente (Pinillos *et al.*, 2016). El bienestar animal también impacta en el valor comercial de los productos de origen animal, ya que la demanda de alimentos de alta calidad ha ido en aumento y un número cada vez mayor de consumidores esperan que los productos animales se obtengan y procesen con mayor respeto por el bienestar de los animales (Giuseppe *et al.*, 2017).

Emisiones de gases de efecto invernadero por el ganado

Dependiendo de los enfoques y el alcance de las emisiones cubiertas, las estimaciones de diversas fuentes sitúan la contribución del ganado a las emisiones antropogénicas globales de GEI entre un 7 y un 18 %. De acuerdo con Patra (2012), se ha calculado, con base en el análisis del ciclo de vida (ACV), que el sector emite aproximadamente 7,1 Gt de CO₂-eq por año, lo que equivale aproximadamente al 18 % del total de las emisiones antropogénicas de GEI.

El metano (CH₄) y el dióxido de carbono (CO₂) son subproductos naturales de la fermentación microbiana de los carbohidratos y, en menor medida, de los aminoácidos en el rumen y el intestino grueso de los animales de granja. El metano es producido en condiciones estrictamente anaeróbicas por microorganismos metanogénicos altamente especializados. En los rumiantes, la gran mayoría de la producción de metano entérico ocurre en el retículo-rumen; las emisiones intestinales representan el 13 % en promedio y las rectales solamente del 2 al 3 % (Muñoz *et al.*, 2012). Además, la producción de metano puede representar hasta el 12 % de la energía cruda consumida en rumiantes, ocasionando una pérdida de energía importante para el animal (Morgavi *et al.*, 2010).

Las principales estrategias de mitigación de GEI para ganado se clasifican de acuerdo con su enfoque de mitigación como reducción de emisiones totales (inhibición de la producción de metano en el rumen) o reducción de la intensidad de emisiones (reducción de CH₄ por unidad de producto, sin metanogénesis directa) (Llonch *et al.*, 2017). Las primeras incluyen inhibidores químicos, aceptores de electrones (es decir, nitratos), ionóforos y lípidos en la dieta. El aumento de la digestibilidad de la dieta, la producción intensiva, la mejora de la salud y el bienestar, el aumento de la eficiencia reproductiva y el mejoramiento para una mayor productividad, se incluyen en las segundas. Las estrategias que aumentan la productividad son formas muy prometedoras de reducir la huella de carbono del ganado, aunque en sistemas intensivos esto probablemente se logre a costa del bienestar de los animales. Otras

estrategias pueden reducir efectivamente las emisiones de GEI al mismo tiempo que mejoran el bienestar de los animales (por ejemplo, la suplementación de alimentos o la mejora de la salud); estas estrategias deben ser fuertemente apoyadas ya que abordan la sostenibilidad ambiental y la producción ética de alimentos (Llonch *et al.*, 2017; Guyader *et al.*, 2016). A continuación se presentan algunas estrategias reportadas en la literatura que pueden ser utilizadas, dependiendo del contexto, para disminuir las emisiones de CH₄ entérico.

Composición de la dieta

El tipo de carbohidratos en la dieta es importante para la producción de metano; mayor proporción de almidón en la dieta de rumiantes tiende a disminuir la producción de metano, disminuyendo también la pérdida de energía cruda de la dieta (Beauchemin *et al.*, 2008; Sarah *et al.*, 2010). No obstante, la alimentación con grandes cantidades de carbohidratos solubles, y sobre todo cuando se introduce este tipo de dietas de manera abrupta acompañada de un mal manejo alimenticio, puede disminuir considerablemente el pH ruminal, lo que ocasiona acidosis ruminal y metabólica, y eventualmente problemas podales como laminitis. Ambos padecimientos tienen consecuencias económicas y de salud a largo plazo, y son uno de los principales problemas que afecta el bienestar animal; ocasionan disminución y fluctuaciones en la ingesta de alimentos, disminución en la digestibilidad de la dieta, disminución en la producción, daño gastrointestinal y abscesos hepáticos (Llonch *et al.*, 2017; Abdela, 2016); el agobio causado por el dolor producido merma la capacidad productiva, disminuye la condición cor-

poral, disminuye la fertilidad, induce al envejecimiento precoz e impide la expresión normal de la conducta (moverse libremente, levantarse y echarse sin dolor, y acceder a la comida y agua, para mantener su nivel productivo y reproductivo) con lo que se ven afectadas las cinco necesidades mínimas de los animales (Abdela, 2016; Way y Shearer, 2017).

Lípidos

Los lípidos en la dieta son efectivos para reducir las emisiones de CH₄ entérico, pero la aplicabilidad de esta práctica depende de su costo y sus efectos en la ingesta de alimento, la productividad y el bienestar de los animales (Grainger y Beauchemin, 2011). Se sabe que los ácidos grasos de cadena media reducen la metanogénesis por varios mecanismos, principalmente por una reducción en la proporción de energía a partir de carbohidratos fermentables, un cambio en la población microbiana del rumen, particularmente al inhibir los microorganismos metanógenos, y por la biohidrogenación de ácidos grasos insaturados que funcionan como aceptores de hidrógeno. La combinación de estos efectos puede reducir la producción de CH₄ entre 3.8 % y 5.4 % por adición de 1 % y hasta 6 % de lípidos en base seca, ya que se ha reportado que la inclusión en mayor porcentaje puede provocar una disbiosis, lo que ocasionaría un deterioro de la función ruminal, disminuyendo el consumo de alimento y la digestibilidad de fuentes energéticas no lipídicas (Martin *et al.*, 2010). La suplementación con grandes cantidades de lípidos en la dieta afecta la función gastrointestinal en los rumiantes, lo que podría afectar su estado nutricional, influyendo no solo en su bienestar sino también en su eficiencia productiva. (Guyader *et al.*, 2016; Llonch *et al.*, 2017).



Inhibidores químicos

Diversos compuestos químicos tienen efecto inhibidor específico en el rumen sobre los microorganismos metanogénicos. Entre los compuestos más exitosos probados *in vivo* se encuentran el bromoclorometano (BCM), 2-bromo-etano sulfonato (BES), cloroformo y ciclodextrina (Llonch *et al.*, 2017; Sarah *et al.*, 2010). Estos inhibidores redujeron estadísticamente la producción de CH₄ hasta en un 50 % *in vivo* (desde 25 hasta 95 %) sin reducir la ingesta de alimento, la ganancia diaria de peso ni la digestibilidad del alimento en ovinos, caprinos y bovinos (Mitsumori *et al.*, 2012; Hristov *et al.*, 2013). Sin embargo, este efecto potencial debe contrastarse con el riesgo para el bienestar animal, para la salud humana (a través del consumo de los productos de origen animal), y para el medio ambiente, ya que se ha encontrado un riesgo potencial de toxicidad con el uso de suplementos de halometanos con efectos que van desde daño hepático hasta la muerte después de un largo período de uso (Patra, 2012), por lo que es poco probable que puedan ser utilizados como suplementos de rutina para la mitigación de CH₄ (Llonch *et al.*, 2017). Investigaciones recientes han identificado químicos alternativos capaces de inhibir la metanogénesis sin efectos secundarios para la salud; el más efectivo en la actualidad es el 3-nitrooxipropanol (3NP), con el cual se ha observado una reducción del 24 % en las emisiones de CH₄ en ensayos *in vivo* con ovejas (Martínez-Fernández *et al.*, 2013), y de 7 % al 60 % en bovinos (Haisan *et al.*, 2014; Reynolds *et al.*, 2014). Experimentos que han probado 3NP no han informado efectos secundarios para la salud atribuible a su administración durante 3 a 5 semanas. En un estudio reciente (Hristov *et al.*, 2015) se extendió la prueba a 14 semanas, logrando una reducción promedio del 30 % de CH₄, sin detectar efectos tóxicos, por lo que el uso de este inhibidor podría ser una estrategia dietética efectiva e inofensiva para mitigar el CH₄, sin embargo, es necesaria la realización de más estudios centrados en la toxicidad para confirmar esto antes de ser utilizado a una escala comercial (Llonch *et al.*, 2017).

Ionóforos (monensina)

La monensina es un ionóforo antibiótico producido por *Streptomyces cinnamonensis*. Ha sido el más usado rutinariamente, y se ha encontrado que reduce las emisiones de CH₄ en los rumiantes hasta un 30 % (Martin *et al.*, 2010; Grainger y Beauchemin, 2011), pero de 2 a 4 semanas después de su uso, se ha observado un efecto decreciente del 8 al 10 % debido a la adaptación de la microflora ruminal a este antibiótico (Appu-

hamy *et al.*, 2013). La monensina es capaz de suprimir la metanogénesis a través de un efecto indirecto, ya que afecta a las bacterias productoras de H⁺, originando así la reducción de los precursores de la metanogénesis (Sarah *et al.*, 2010). Los ionóforos tienen la capacidad de aumentar la eficiencia de la alimentación, disminuyendo la cantidad de consumo de alimento requerido para mantener la productividad, por lo que se disminuye también la emisión de CH₄ por unidad de producto; benefician además a la salud animal de varias maneras: ayuda en la reducción de la morbilidad y mortalidad de bovinos destinados al consumo de carne, disminuyendo la incidencia de acidosis subclínica, mejora el balance de energía negativa en vacas lecheras durante la lactancia temprana y disminuye problemas de cetosis subclínica, al mejorar la digestibilidad de la ración y reducir la movilización de grasa corporal, entre otros (McGuffey *et al.*, 2001). En contraste con estos múltiples beneficios, los ionóforos pueden ser tóxicos en dosis única de 22 mg kg⁻¹ de peso corporal o más; dosis de monensina de 400 a 4000 mg por animal por día durante 7 días ocasionan reducción en la ingesta de alimentos hasta el punto de anorexia, diarrea, depresión, aumento en la frecuencia respiratoria, ataxia y muerte (Guan *et al.*, 2006). Se ha reportado que la dosis de monensina requerida para reducir las emisiones de CH₄ es de 32 a 36 mg kg⁻¹ de peso corporal en ganado de carne y 21 mg kg⁻¹ de peso corporal en ganado lechero (Appuhamy *et al.*, 2013), mientras que para aumentar la eficiencia de la alimentación, la dosis requerida puede variar de 10 a 40 mg kg⁻¹ de MS (Guan *et al.*, 2006; Martineau *et al.*, 2007). Aunado a lo anterior, el aumento global de la Resistencia a los Antimicrobianos (RAM), que representa una importante amenaza para la salud humana y animal, pone en peligro la actual medicina humana y veterinaria y socava la seguridad alimenticia y el medio ambiente. Los antimicrobianos desempeñan un papel crítico en el tratamiento de las enfermedades de los animales de granja; su utilización es esencial para la seguridad alimentaria y para el bienestar de los humanos y de los animales no humanos. Sin embargo, el uso inapropiado de estos fármacos, asociado a la aparición y propagación de microorganismos resistentes a los antimicrobianos, pone a todos en una situación de gran riesgo (FAO, 2016). En la Unión Europea ha sido prohibido el uso de antibióticos como promotores de crecimiento, dada la preocupación por la resistencia bacteriana que generan; sin embargo, fuera de la Unión Europea siguen siendo usados, y por lo tanto, siguen siendo un recurso utilizado para mitigar las emisiones

de CH₄, aunque existe la tendencia mundial hacia la reducción del uso indiscriminado de antibióticos.

Compuestos presentes en plantas

Diversos estudios han mostrado que las plantas contienen una amplia variedad de compuestos secundarios con actividad antimicrobiana potencial, que mejora la fermentación ruminal y disminuye la producción de CH₄ (Bauchemin *et al.*, 2007; Grainger *et al.*, 2009; Benchaar y Greathead, 2011). Dichos compuestos incluyen taninos, saponinas y algunos aceites esenciales. Sin embargo, los efectos reportados en la literatura son variables y contradictorios, debido a las diferentes concentraciones de ingredientes, dietas basales utilizadas y ausencia de comparaciones directas *in vivo* por lo que se requiere mayor investigación al respecto, sobre todo para identificar sus efectos a largo plazo en el bienestar de los animales (Wanapa *et al.*, 2013), ya que algunos de ellos, como los taninos y saponinas, tienen efectos tóxicos y antinutricionales potenciales para los animales, con todas las repercusiones sobre el bienestar animal que ello implica.

Defaunación

La defaunación es la eliminación de protozoos del rumen, y se ha utilizado para investigar el papel de los protozoos en la función del rumen y en la producción de metano. Se ha estimado que los metanógenos asociados con los protozoos ciliados, tanto intracelulares como extracelulares, son responsables del 9 al 37 % de la producción de metano en el rumen (Hristov *et al.*, 2011). Por esta razón, los tratamientos que disminuyen la población de protozoos del rumen, también pueden disminuir la población de metanógenos asociada a protozoos y, por lo tanto,

disminuir la producción de metano en el rumen. Los tratamientos para la defaunación que se han utilizado incluyen sulfato de cobre, ácidos, productos químicos de superficie activa, triazina, lípidos, taninos, ionóforos y saponinas (Morgavi *et al.*, 2011). Se ha sugerido que el efecto de la defaunación en la producción de metano depende de la dieta, encontrando que hay un mayor efecto en dietas con alto contenido de almidón (Hegarty *et al.*, 2008; Morgavi *et al.*, 2011). Mantener animales defaunados resulta muy difícil, ya que éstos pueden contaminarse por el contacto directo con animales no defaunados o su excremento, y con alimento o agua contaminada; además los efectos de la defaunación han sido variables e inciertos, por lo que ésta estrategia resulta poco práctica (Morgavi *et al.*, 2011; Hirstov *et al.*, 2011; Benchaar y Greathead, 2011).

Ácidos orgánicos

Los ácidos orgánicos (malato, fumarato y acrilato) se han utilizado como aditivos dietéticos (Morgavi *et al.*, 2010). El fumarato y el acrilato han demostrado ser los más efectivos *in vitro*, sin embargo, las respuestas de su uso siguen siendo poco concluyentes y muy variables; principalmente el ácido fumárico con el cual se han obtenido valores diferentes en la disminución del metano, que van desde 60 % hasta poco más del 80 % en ovinos y caprinos (Wood *et al.*, 2009; Molano *et al.*, 2008; Foley *et al.*, 2009). Tal efecto parece estar influenciado por la dieta, observándose mayor reducción en dietas con mayor contenido de almidón. No obstante lo anterior, es necesario realizar más experimentos que permitan determinar las condiciones óptimas de su uso y su efecto a largo plazo para confirmar que los beneficios observados sean duraderos y que no impacten negativamente en el bienestar de los animales (Wood *et al.*, 2009; Molano *et al.*, 2008).

Respecto a las estrategias para disminuir la intensidad de las emisiones de metano se encuentran las estrategias encaminadas a hacer más eficientes los sistemas de producción, bajo la suposición de que en dichos sistemas se necesitan menos cantidad de animales (por lo tanto menor emisión de GEI incluido el metano), para producir la misma cantidad de producto comparado con sistemas de producción menos eficientes (Bannink *et al.*, 2011). En este grupo de estrategias se encuentran el incremento en la digestibilidad de la dieta, el incremento en la salud y bienestar de los animales (animales saludables y con bienestar son más productivos), el incremento en la eficiencia reproductiva y crianza de reemplazos (bajos índices reproductivos y alta mortalidad de crías conducen a la necesidad de mayor cantidad de animales reproductores para mantener el tamaño del hato), entre otros (Beauchemin *et al.*, 2010).

CONCLUSIONES

Los peligros y beneficios potenciales de cualquier estrategia para la mitigación de las emisiones de GEI derivados de la actividad pecuaria, deben ser considerados en su aplicación, debiendo ser prioritarias aquellas que ofrecen un doble beneficio, tanto para la mejora del medio ambiente como para el bienestar de los animales, considerando una sincronía holística entre ellos, donde se considere además la conservación de la biodiversidad, la mejora de la salud del



suelo, la mejora de la calidad del agua y la preservación del hábitat para la vida silvestre. La mitigación del cambio climático esta éticamente justificada, sin embargo, a menudo los mecanismos para tal mitigación carecen de toda ética, sobre todo cuando se compromete el bienestar animal, incluido el del humano.

LITERATURA CITADA

- Abdela N. 2016. Sub-acute Ruminant Acidosis (SARA) and its Consequence in Dairy Cattle: A Review of Past and Recent Research at Global Prospective. *Achievements in the Life Sciences* 10:187-196.
- Appuhamy J.A., Strathe A.B., Jayasundara S., Wagner-Riddle C., Dijkstra J., France J., Kebreab E. 2013. Anti-methanogenic effects of monensin in dairy and beef cattle: a meta-analysis. *Journal of Dairy Science* 96: 5161-73.
- Bannink A., Van Schijndel M.W., Dijkstra J. 2011. A model of enteric fermentation in dairy cows to estimate methane emission for the Dutch National Inventory Report using the IPCC Tier 3 approach. *Animal Feed Science and Technology* 166-167: 603-618.
- Beauchemin K.A., Janzen H.H., Little S.M., McAllister T.A., McGinn S.M. 2010. Life cycle assessment of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada: A case study. *Agricultural Systems* 103: 371-379.
- Beauchemin K.A., McGinn S.M., Martinez T.F., McAllister T.A. 2007. Use of condensed tannin extract from quebracho trees to reduce methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science* 85:1990-1996.
- Beauchemin K.A., Kreuzer M., O'Mara F., McAllister T.A. 2008. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48: 21-27.
- Benchaar C., Greathead H. 2011. Essential oils and opportunities to mitigate enteric methane emissions from ruminants. *Animal Feed Science and Technology* 166-167: 338-355.
- Broom D.M., Galindo F.A., Murgueitio E. 2013. Sustainable, efficient livestock production with high biodiversity and good welfare for animals. *Proceedings of the Royal Society of London Biological Science* 280: 2013-2025. doi: 10.1136/vr.i5470.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2016. El Plan de acción de la FAO sobre la resistencia a los antimicrobianos 2016-2020. Roma, Italia. <http://www.fao.org/3/b-i5996s.pdf>.
- Foley P.A., Kenny D.A., Callan J.J., Boland T.M., O'Mara F.P. 2009. Effect of DL-malic acid supplementation on feed intake, methane emission, and rumen fermentation in beef cattle. *Journal of Animal Science* 87: 1048-1057.
- Giuseppe P., Francesconi, A.H.D., Stefanon B., Sevi A., Calamari L., Lacetera N., Dell'Orto V., Pilla F., Marsan P.A., Mele M., Rossi F., Bertoni G., Crovetto G.M., Ronchi B. 2017. Sustainable ruminant production to help feed the planet. *Italian Journal of Animal Science* 16: 140-171.
- Grainger C., Beauchemin K.A. 2011. Can enteric methane emissions from ruminants be lowered without lowering their production? *Animal Feed Science and Technology* 166-167: 308-320.
- Grainger C., Clarke T., Auldust M.J., Beauchemin K.A., McGinn S.M., Waghorn G.C. Eckard R.J. 2009. Potential use of *Acacia mearnsii* condensed tannins to reduce methane emissions and nitrogen excretion from grazing dairy cows. *Canadian Journal of Animal Science* 89: 241-251.
- Guan H., Wittenberg K.M., Ominski K.H. 2006. Efficacy of ionophores in cattle diets for mitigation of enteric methane. *Journal of Animal Science* 84: 1896-1906.
- Guyader J., Janzen H. H., Kroebe R., Beauchemin K. A. 2016. Forage use to improve environmental sustainability of ruminant production. *Journal Animal Science* 94: 3147-3158. doi:10.2527/jas.2015-0141.
- Haisan J., Sun Y., Guan L.L., Beauchemin K.A., Iwaasa A., Duval S., Barreda D.R., Oba M. 2014. The effects of feeding 3-nitrooxypropanol on methane emissions and productivity of Holstein cows in mid lactation. *Journal of Dairy Science* 97: 3110-3119.
- Hegarty R. S., S. H. Bird, B. A. Vanselow, and R. Woodgate. 2008. Effects of the absence of protozoa from birth or from weaning on the growth and methane production of lambs. *British Journal of Nutrition* 100: 1220-1227.
- Hook S.E, Wright A.D., McBride BW. 2010. Methanogens: Methane Producers of the Rumen and Mitigation Strategies. *Archaea* 2010. doi: 10.1155/2010/945785.
- Hristov A.N., Ott T., Tricarico J., Rotz A., Waghorn G., Adesogan A., Dijkstra J., Montes F.R., Oh J., Kebreab E., Oosting S.J., Gerber P.J., Henderson B., Makkar H.P. Firkins J.L. 2015. Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: III. A review of animal management mitigation options. *Journal of Animal Science* 91: 5095-5113.
- Hristov A.N., Lee C., Cassidy T., Long M., Heyler L., Corl B., Forster R. 2011. Effects of lauric and myristic acids on ruminal fermentation, production, and milk fatty acid composition in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 94: 382-395.
- Hristov A.N., Oh J., Lee C., Meinen R., Montes F., Ott T., Firkins J., Rotz A., Dell C., Adesogan A., Yang W., Tricarico J., Kebreab E., Waghorn G., Dijkstra J., Oosting S. 2013. Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production a review of technical options for non-CO₂ emissions Editors Pierre J. Gerber, Benjamin Henderson y Harinder P.S. Makkar. FAO Documento No. 177. FAO, Rome, Italy.
- Llonch P., Haskell M.J., Dewhurst R.J., Turner S.P. 2017. Current available strategies to mitigate greenhouse gas emissions in livestock systems: an animal welfare perspective. *Animal* 11: 274-284.
- Martin C., Morgavi D.P., Doreau M. 2010. Methane mitigation in ruminants: from microbe to the farm scale. *Animal* 4: 351-365.
- Martineau R., Benchaar C., Petit H.V., Lapierre H., Ouellet D.R., Pellerin D.R., Berthiaume R. 2007 Effects of lasalocid or monensin supplementation on digestion, ruminal fermentation, blood metabolites, and milk production of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 90: 5714-5725.
- Martinez-Fernandez G., Arco A., Abecia L., Cantalapiedra-Hijar G., Molina-Alcaide E., Martin-Garcia A., Kindermann M., Duval S., Yanez-Ruiz D.R. 2013. The addition of ethyl-3-nitrooxy propionate and 3-nitrooxypropanol in the diet of sheep sustainably reduces methane emissions and the effect persists over a month. *Advances in Animal Biosciences* 4: 368.
- Mcguffey R.K., Richardson L.F., Wilkinson J.I.D. 2001. Ionophores for dairy cattle: current status and future outlook. *Journal of Dairy Science Suppl.* 84: 194-203.
- Mitsumori M., Shinkai T., Takenaka A., Enishi O., Higuchi K., Kobayashi Y., Nonaka I., Asanuma N., Denman S.E., McSweeney C.S. 2012.

- Responses in digestion, rumen fermentation and microbial populations to inhibition of methane formation by a halogenated methane analogue. *British Journal of Nutrition* 108: 482-491.
- Molano G., Knight T. W., Clark H.. 2008. Fumaric acid supplements have no effect on methane emissions per unit of feed intake in wether lambs. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48: 165-168.
- Morgavi D.P., Forano E., Martin C., Newbold C.J. 2010. Microbial ecosystem and methanogenesis in ruminants. *Animal* 4: 1024-1036.
- Morgavi D.P., Martin C., Jouany J.-P., Ranilla M.J. 2011. Rumen protozoa and methanogenesis: not a simple cause-effect relationship. *British Journal Nutrition* 107: 388-397.
- Muñoz C., Yan T., Wills D.A., Murray S., Gordon A.W. 2012. Comparison of the sulphur hexafluoride tracer and respiration chamber techniques for estimating methane emissions and correction for rectum methane output from dairy cows. *Journal of Dairy Science* 95: 3139-3148.
- Patra A.K. 2012. Enteric methane mitigation technologies for ruminant livestock: a synthesis of current research and future directions. *Environmental Monitoring and Assessment* 184:1929-1952.
- Pinillos R.G., Appleby M., Manteca X., Scott-Park F., Smith C., Velarde A.. 2016. One Welfare: A platform for improving human and animal welfare. *Veterinary Record* 179: 412-413.
- Reynolds C.K., Humphries D.J., Kirton P, Kindermann M., Duval S., Steinberg W. 2014. Effects of 3-nitrooxypropanol on methane emission, digestion, and energy and nitrogen balance of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 97: 3777-3789.
- Wanapat M., Kang S., Polyorach S. 2013. Development of feeding systems and strategies of supplementation to enhance rumen fermentation and ruminant production in the tropics. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 4: 32.
- Whay H.R., Shearer J.K. 2017. The Impact of Lameness on Welfare of the Dairy Cow. *Veterinary Clinics Food Animal Practice*. doi: 10.1016/j.cvfa.2017.02.008.
- Wood T.A., Wallace R. J., Rowe A. 2009. Encapsulated fumaric acid as a feed ingredient to decrease ruminal methane emissions. *Animal Feed Science and Technology* 152 62-71.



TÉCNICA DE PRODUCCIÓN DE GAS *in vitro* PARA ESTIMAR LA PRODUCCIÓN DE METANO

In vitro GAS PRODUCTION TECHNIQUE USED TO ESTIMATE THE PRODUCTION OF METHANE

Crosby-Galván, M.M.¹; Ramírez-Mella, M.^{2*}

¹Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Programa de Ganadería. Carretera México- Texcoco km 36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230. ²CONACYT-Colegio de Postgraduados Campus Campeche. Carretera Haultunchén-Edzná km 17.5. Sihochac, Champotón, Campeche. C. P. 24450.

*Autor de correspondencia: monicara@colpos.mx

RESUMEN

La producción de gas *in vitro* es una técnica altamente utilizada para evaluar el efecto de alimentos, dietas y aditivos en la fermentación ruminal desde mediados del siglo XX. Más recientemente, esta técnica también se ha utilizado para estimar la producción de metano (CH₄), producto de la fermentación ruminal, ya sea por cromatografía de gases, con un analizador de gases portátil o con una solución de hidróxido de sodio (NaOH). Cualquiera de ellas es útil para predecir el potencial metanogénico de los sustratos o aditivos utilizados en la alimentación de rumiantes; no obstante, cada una tiene sus peculiaridades que es necesario tomar en cuenta al momento de decidir cómo estimar la producción de CH₄ con la técnica de producción de gas *in vitro* (TPGIV).

Palabras clave: Cambio climático, gases de efecto invernadero, CH₄, ganadería.

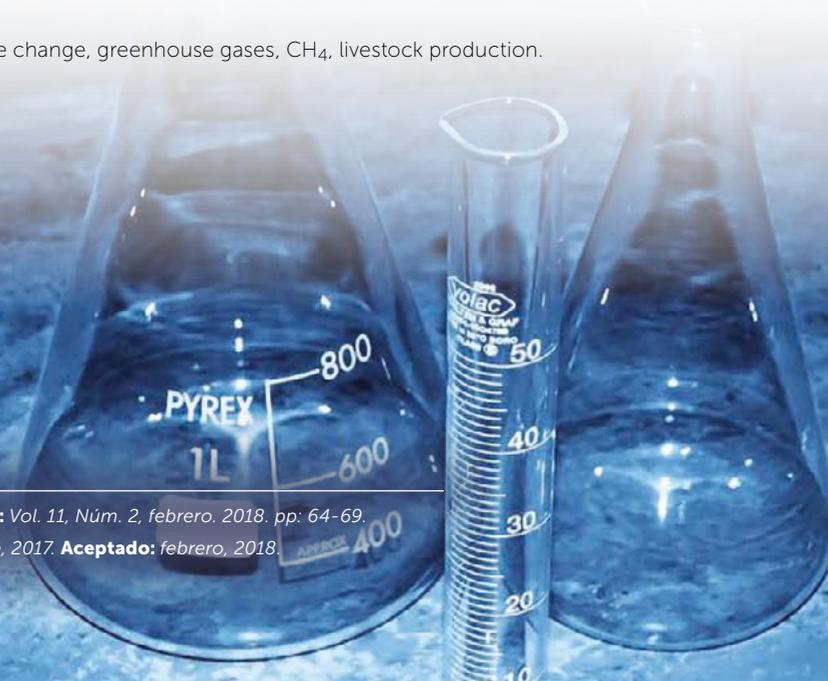
ABSTRACT

Since the mid-twentieth century, *in vitro* gas production is a highly used technique to evaluate the effect of feedstuff, diets and additives on ruminal fermentation. More recently, this technique has also been used to estimate the production of methane (CH₄), product of ruminal fermentation, either by gas chromatography, with a portable gas analyzer, or with a solution of sodium hydroxide (NaOH). Any of them is useful to predict the methanogenic potential of the substrates or additives used in ruminant diets; however, each has its peculiarities that must be taken into account when deciding how to estimate the production of CH₄ with the *in vitro* gas production technique (IVGPT).

Keywords: Climate change, greenhouse gases, CH₄, livestock production.

Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 2, febrero. 2018. pp: 64-69.

Recibido: diciembre, 2017. **Aceptado:** febrero, 2018.



INTRODUCCIÓN

La técnica de producción de gas *in vitro* (TPGIV) se ha utilizado ampliamente para evaluar el efecto de diferentes forrajes, alimentos, dietas y aditivos en la fermentación ruminal; sin embargo, debido al creciente interés en el Cambio Climático y de la contribución de la ganadería en las emisiones de gases de efecto invernadero, recientemente también se le ha utilizado para estimar metano (CH₄) (Storm *et al.*, 2012; Yáñez-Ruiz *et al.*, 2016). El principio de la TPGIV es simular, bajo condiciones controladas de laboratorio, el ambiente ruminal, manteniendo la temperatura, pH, anaerobiosis y aporte de minerales para evaluar la fermentación de diferentes sustratos o aditivos (Storm *et al.*, 2012). De manera general, en la literatura se reportan tres métodos para estimar CH₄ con la TPGIV: una directa, en la cual se colecta una muestra de gas que se inyecta a un cromatógrafo de gases el cual determina la concentración de CH₄, otra indirecta, en donde se inyecta el gas colectado en una solución de NaOH (Fievez *et al.*, 2005), y otra con un analizador de gases portátil que se adapta a los frascos incubados (Elghandour *et al.*, 2017). En todos los casos, es necesario tener acceso a líquido ruminal fresco ya sea de un animal con cánula ruminal (Figura 1) o colectado a través de una sonda gástrica. Por lo anterior, el objetivo de esta revisión es describir de manera general cómo utilizar la TPGIV para medir la producción de CH₄, así como algunas ventajas y desventajas de su uso con respecto a las técnicas *in vivo*.

Breve historia de la técnica de producción de gas *in vitro*

El estudio de la degradación y fermentación ruminal de alimentos midiendo la producción de gas data de mediados del siglo XX cuando McBee (1953) y Hungate (1966) midieron por primera vez la producción de gas en un cultivo de líquido ruminal con el objetivo de evaluar

la actividad microbiana (Rymer *et al.*, 2005). Por esa misma época, Tilley y Terry (1963) realizaron estudios *in vitro* para medir la degradación de sustratos a un punto fijo, pero fue en 1975 cuando Czerkawski y Breckenridge desarrollaron un sistema de desplazamiento de un émbolo por efecto del gas producido en fermentaciones realizadas en una jeringa de vidrio. Posteriormente, en 1979, Menke y colaboradores utilizaron la técnica con jeringas para determinar la fermentación a punto final después de 24 horas de incubación. Esta técnica fue modificada por Blümel y Orskov en 1993 incubando las jeringas en una incubadora rotatoria, estableciendo que si se registraba la producción de gas a intervalos frecuentes se podía determinar la cinética de la fermentación. En lugar de registrar el desplazamiento de un émbolo, también se puede medir la presión de gas, metodología descrita



Figura 1. Obtención de líquido ruminal fresco de un bovino con cánula permanente. Previamente en el laboratorio se llena un termo con agua destilada a 39 °C. Justo antes de realizar la colecta, el agua del termo se desecha y se coloca el líquido ruminal filtrado con tela tipo gasa dentro del termo. Una vez obtenida la cantidad deseada, se cierra el termo y se transporta inmediatamente al laboratorio para la preparación del inóculo.

inicialmente por Wilkins en 1974 y posteriormente por Theodorou y colaboradores en 1994, quienes utilizaron un transductor de presión manual (Yáñez-Ruiz *et al.*, 2016). En este último caso, los datos obtenidos de la presión, expresados en kg/cm², se transforman a mL/g de materia seca o materia orgánica fermentada.

En la década de 1990 se desarrollaron diversos métodos automatizados para medir *in vitro* la producción de gas en tiempo real permitiendo un mejor entendimiento de la cinética de fermentación de sustratos. Es importante resaltar que la TPGIV *per se* no mide

las concentraciones de CH₄; es indispensable colectar muestras de gas para analizarlas por alguna técnica analítica como la cromatografía de gases. Como alternativa, Muetzel y colaboradores en 2014 desarrollaron un sistema automatizado de medición de CH₄ el cual se monitorea en tiempo real por cromatografía de gases (Yáñez Ruiz *et al.*, 2016). Más recientemente, Elghandour *et al.* (2017) adaptaron un analizador de gases portátil a la TPGIV para registrar la producción de CH₄. El uso de los analizadores portátiles para medir *in vitro* la producción

de CH₄ pudiera ser una alternativa mucho más económica y accesible que la cromatografía de gases; no obstante, a nuestro conocimiento sólo existe un artículo reportado utilizando este aparato para medición de CH₄.

Generalidades del ambiente ruminal

Para comprender el principio de la TPGIV es necesario conocer algunos aspectos básicos del ambiente ruminal. Los rumiantes se consideran un grupo realmente exitoso de fermentadores debido a que poseen un órgano digestivo especial: el rumen (Madigan *et al.*, 2015). El rumen puede considerarse como un fermentador abierto, en el cual el alimento sufre una transformación a nutrientes que son utilizados por el animal. Para lograr el establecimiento y la actividad eficiente de microorganismos anaerobios, el rumen debe proporcionar un hábitat con características fisicoquímicas que permitan el crecimiento y la actividad de las bacterias, arqueas, protozoarios y hongos que en su mayoría son anaerobios estrictos (Cuadro 1). Cabe señalar que las características fisicoquímicas del rumen pueden variar bajo condiciones de manejo y alimentación (Cobos, 2007).

Dentro del ambiente ruminal, los microorganismos celolíticos hidrolizan la celulosa liberando glucosa. La glucosa experimenta entonces la fermentación bacteriana, con producción de ácidos grasos volátiles (AGVS), principalmente ácido acético, propiónico y butírico y los gases dióxido de carbono (CO₂) y CH₄. Los niveles de AGVS en el rumen en estado estable, son aproximadamente 60 mM de acetato, 20 mM de propionato, y 10 mM de butirato. Dichos AGVS pasan a través de la pared ruminal al torrente sanguíneo y son oxidados en los diferentes tejidos del animal, constituyendo su principal fuente de energía, mientras que los productos gaseosos de la fermentación se liberan por el eructo (Madigan *et al.*, 2015).

La producción de CH₄ en el rumen no tiene un mecanismo exacto, se considera una vía metabólica

única, tomando en cuenta que el paso principal en el aporte de energía se asocia a la reducción del grupo metilo a metano (Mackie *et al.*, 1992; Takahashi, 2005).

La cromatografía de gases para medir metano

La medición de metano ruminal por cromatografía de gases se describió casi desde el surgimiento TPGIV. En 1961, McArthur y Miltimore publicaron por primera vez un análisis completo de los gases del rumen por cromatografía de gases. Posteriormente, Hungate (1967) la utilizó para medir la concentración de hidrógeno y establecer que este gas es un intermediario importante de la metanogénesis ruminal. A partir de ello, se ha utilizado la cromatografía de gases para determinar la concentración de gases ruminales, incluyendo CH₄, bajo diferentes condiciones en una gran cantidad de estudios. Esta técnica analítica es muy rápida y confiable; sin embargo, el elevado costo de un cromatógrafo de gases, incluyendo la columna adecuada así con los gases que el sistema requiere, hace a esta técnica poco accesible.

Uso de hidróxido de sodio para estimar metano

La técnica con NaOH para estimar indirectamente metano en ensayos *in vitro* ha sido utilizada en diversos estudios de nutrición de rumiantes. En todos los casos, la determinación se realiza al final de la fermentación para producción de gas *in vitro* (Kholif *et al.*, 2017; Kulivand y Kafilzadeh, 2015; Tona *et al.*, 2015, Babayemi *et al.*, 2007). Su uso se ha difundido desde que Fievez *et al.*

(2005) demostraron que con esta técnica se puede obtener información precisa de la producción de metano *in vitro* cuando no se cuenta con un equipo de cromatografía (Figura 2). De acuerdo con ellos, la absorción de CO₂ con el NaOH permite tener una predicción precisa del CH₄ producido, con un coeficiente de correlación de concordancia de 0.96. El coeficiente de correlación de concordancia se utiliza comúnmente para evaluar el grado de coincidencia entre dos métodos diferentes para medir

Cuadro 1. Características fisicoquímicas del ambiente ruminal.

Concepto	Valor
Temperatura, °C	38 a 41
pH	5.3 a 7.2
Contenido de materia seca, %	10 a 18
Principales gases disueltos, %	
Bióxido de carbono	65.30
Metano	26.76
Nitrógeno	7.0
Oxígeno	0.56
Hidrógeno	0.18
Sulfuro de hidrógeno	0.01
Ácidos grasos volátiles, μmol/mL:	
- Acético	66 a 70
- Propiónico	23 a 25
- Butírico	15 a 20
- Valérico, isovalérico, isobutírico y 2-metilbutírico	2 a 4
- Total	106 a 119

Fuente: tomado de Cobos (2007).



Figura 2. Estimación de metano con la técnica de producción de gas *in vitro*. Figura 2a. Uso de hidróxido de sodio. Con una jeringa de vidrio de 60 mL se colecta el gas producido en los frascos incubados con el inóculo y el sustrato; posteriormente el gas se transfiere a otro vial que contiene una solución de hidróxido de sodio, se agita para asegurar la incorporación del gas en dicha solución y se vuelve a colectar el gas. El gas obtenido del frasco con hidróxido de sodio corresponde a metano más gases menores. Figura 2b. Colecta de gas para cromatografía de gases. Se obtiene una cantidad determinada de gas de los frascos incubados con el inóculo y el sustrato y se transfiere a otro frasco previamente llenado hasta el tope con una solución salina saturada. Deberá colocarse una aguja (como se muestra en la imagen) para que, por desplazamiento, la muestra de gas quede dentro. De este modo la muestra puede almacenarse para posteriormente determinar la concentración de metano por cromatografía de gases.

una misma variable. En el caso de Fievez *et al.* (2005), se midió metano (variable) a través de cromatografía de gases (método 1) y con solución de NaOH (10 M) (método 2).

En el Cuadro 2 se resumen la metodología y los resultados de diversos estudios que utilizan el NaOH para estimar la producción de metano en ensayos *in vitro*, utilizando diferentes sustratos o aditivos. Como puede observarse, en casi todos los casos la estimación de metano se realizó justo después de la última medición de producción de gas, generalmente a las 24 o 48 horas, inyectando la solución de NaOH en el mismo vial.

Ventajas y desventajas de las técnicas *in vitro* para estimar metano en rumiantes

Una de las principales ventajas del uso de la TPGIV para estimar CH₄ es el relativo bajo costo comparado con las mediciones *in vivo*, las cuales requieren de equipos especializados e instalaciones costosas como son las cámaras de respiración o los equipos infrarrojos, o bien resultan ser más complejas como es el caso de la técnica de hexafluoruro de azufre. De acuerdo con Battha *et al.* (2007) y Battha *et al.* (2008) la estimación de metano por cromatografía de gases con la TPGIV está altamente correlacionada con la del hexafluoruro de azufre y con las cámaras de respiración ($R^2=0.71$ en ambos casos),

respectivamente, a las 24 horas. Por otro lado, el uso de hidróxido de sodio hace aún más accesible la estimación de CH₄ de diferentes sustratos y con resultados altamente correlacionados ($R^2=0.98$) con la medición por cromatografía de gases. Asimismo, también se han adaptado a la TPGIV detectores de gas portátiles para medir el CH₄ y CO₂ con resultados confiables (Elghandour *et al.*, 2016). No obstante es importante señalar que estos detectores están fabricados para usarse en la industria alimenticia, cervecera y de hidrocarburos.

Probablemente una de las principales desventajas de la estimación de CH₄ con la TPGIV es que sólo simula la fermentación ruminal sin tomar en cuenta la producción total de CH₄ de todo el animal. Además, no es posible determinar los efectos a largo plazo ya que los estudios

in vitro de este tipo se limitan a periodos no mayores a las 96 horas. Por otro lado, a diferencia de los estudios *in vivo* en los cuales los animales son adaptados a las dietas por periodos de 14 días en promedio, en los ensayos *in vitro* el líquido ruminal se obtiene de un animal con una dieta "estándar" (Storm *et al.*, 2012). De acuerdo con Yáñez-Ruiz *et al.* (2016), se han evaluado una gran cantidad de compuestos antimetanogénicos en estudios *in vitro*, pero pocos son aquellos en los cuales se evalúan simultáneamente *in vitro* e *in vivo*. Además, es importante mencionar que la producción de CH₄ *in vitro* se correlaciona mejor con las emisiones de CH₄ *in vivo* cuando los resultados se expresan por unidad de materia degradada, por lo que los estudios *in vivo* deben realizarse antes de establecer conclusiones que sean resultado únicamente de ensayos *in vitro*.

CONCLUSIONES

La TPGIV ha sido ampliamente utilizada para evaluar la fermentación ruminal de un sinnúmero de dietas, ingredientes o aditivos alimenticios la cual, a lo largo del tiempo se ha modificado para medir la producción de CH₄. Dicha producción de CH₄ puede estimarse ya sea por cromatografía de gases, medidores portátiles o con NaOH. Independientemente de cómo sea la medición, es necesario tomar en cuenta las cualidades y limitantes de cada una de ellas.

Cuadro 2. Resultados de producción de metano de varios estudios *in vitro* utilizando hidróxido de sodio.

Autor	Sustrato	Modo de uso	Horario	Resultado en la producción de metano
Kholif <i>et al.</i> (2017)	Ensilados diversos de paja de trigo, rastrojo de maíz y bagazo de caña, con y sin enzima.	Después de la medición final de la fermentación para producción de gas, se agregaron 2 mL de NaOH (10 M).	48 horas	De 8 a 26 mL/g MS
Tona <i>et al.</i> (2015)	Residuos agrícolas como cascarilla de arroz, residuo de frijol, pulpa de cítricos y rastrojo de maíz.	Después de la medición final de la fermentación para producción de gas, se agregaron 4 mL de NaOH (10 M).	24 horas	De 90 a 170 mL/ g MS
Kulivand y Kafilzadeh (2015)	Pastos diversos nativos de Irán.	Después de la medición final de la fermentación para producción de gas, se agregaron 2 mL de NaOH (10 M).	24 horas	De 47 a 104 mL/g MS
Selmi <i>et al.</i> (2011)	Dietas con diferentes cereales como sorgo, trigo y maíz.	Después de la medición final de la fermentación para producción de gas, se agregaron 5 mL de NaOH (10 M).	36 horas	De 30 a 50 mL/g MS
Bunglavan <i>et al.</i> (2010)	Extractos herbales de ajo, jengibre, neem, entre otros al 10 % en dietas a base de <i>Pennisetum purpureum</i> .	Se colectaron 2 mL de gas de la última medición y se inyectaron en una jeringa con 2 mL de NaOH (10 M).	24 horas	De 9 a 27 mL/g MS
Ogunbosoye y Babayemi (2010)	Follaje de diversos árboles no leguminosos.	Después de la medición final de la fermentación para producción de gas, se agregaron 4 mL de NaOH (10 M).	24 horas	De 40 a 90 mL/ g MS
Babayemi (2007)	Leguminosas, pastos y follaje de árboles diversos.	Después de la medición final de la fermentación para producción de gas, se agregaron 4 mL de NaOH (10 M).	24 horas	De 93 a 125 mL/g MS
Babayemi (2006)	Hojas, semillas y frutos de <i>Enterolobium cyclocarpum</i> .	Después de la medición final de la fermentación para producción de gas, se agregaron 4 mL de NaOH (10 M).	30 horas	De 75 a 150 mL/ g MS
Babayemi y Bamikole (2006)	Hojas de <i>Tephrosia candida</i> de diferentes estados de madurez.	Después de la medición final de la fermentación para producción de gas, se agregaron 4 mL de NaOH (10 M).	24 horas	29.3 a 234 mmol
Babayemi <i>et al.</i> (2006)	Hojas de té y residuo de hojas de té.	Después de la medición final de la fermentación para producción de gas, se agregaron 4 mL de NaOH (10 M).	24 horas	117 a 352 μ mol

AGRADECIMIENTOS

Este artículo forma parte del proyecto No. 417 de la Convocatoria de Proyectos de Desarrollo Científico para Atención a Problemas Nacionales 2015 de CONACYT.

LITERATURA CITADA

- Babayemi O.J. 2006. Antinutritional factors, nutritive value and *in vitro* gas production of foliage and fruit of *Enterolobium cyclocarpum*. *World Journal of Zoology* 1: 113-117.
- Babayemi O.J. 2007. *In vitro* fermentation characteristics and acceptability by West African dwarf goats of some dry season forages. *African Journal of Biotechnology* 6: 1260-1265.
- Babayemi O.J., Bamikole M.A. 2006. Effects of *Tephrosia candida* DC leaf and its mixtures with guinea grass on *in vitro* fermentation changes as feed for ruminants in Nigeria. *Pakistan Journal of Nutrition* 5: 14-18.
- Babayemi O.J., Hamzat R.A., Bamikole M.A., Anurudu N.F., Olomola O.O. 2006. Preliminary studies on spent tea leaf: *in vitro* gas production as affected by chemical composition and secondary metabolites. *Pakistan Journal of Nutrition* 5: 497-500.
- Battha R., Enishi O., Takusari N., Higuchi K., Nonaka I, and Kurihara M. 2008. Diet effects on methane production by goats and comparison between measurement methodologies. *Journal of Agricultural Science* 146: 705-715.
- Battha R., Tajima K., Takusari N., Higuchi K., Enishi O., Kurihara M. 2007. Comparison of *in vivo* and *in vitro* techniques for methane production from ruminant diets. *Asian-Australasian Journal of Animal Science* 20: 1049-1056.
- Bunglavan S.J., Valli C., Ramachandran M., Balanrishnan V. 2010. Effect of supplementation of herbal extracts on methanogenesis in ruminants. *Livestock Research for Rural Development* 22. Article 216. Disponible en <http://www.lrrd.org/lrrd22/11/bung22216.htm>
- Cobos Peralta M. A. 2007. *Microbiología Agrícola*. Hongos, bacterias, micro y macrofauna, control biológico y planta-microorganismo. Ed. Trillas. México. pp. 502-503.
- Elgahndour M., Vázquez J.C, Salem A.Z.M, Kholif A.E, Cipriano M.M., Camacho L.M., Márquez O. 2017. *In vitro* gas and methane production of two mixed rations influenced by three different cultures of *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of Applied Animal Research* 45: 389-395.

- Fieves V., Babayemi O.J., Demeyer D. 2005. Estimation of direct and indirect gas production in syringes: A tool to estimate short chain fatty acid production that requires minimal laboratory facilities. *Animal Feed Science and Technology*: 197-210.
- Hungate R.E. 1967. Hydrogen as an intermediate in the rumen fermentation. *Archiv für Mikrobiologie* 59: 158-164.
- Kholif A.E., Elghandour M.M.Y., Rodríguez G.B., Olafadehan O.A., Salem A.Z.M. 2017. Anaerobic ensiling of raw agricultural waste with a fibrolytic enzyme cocktail as a cleaner and sustainable biological product. *Journal of Cleaner Production* 142: 2649-2655.
- Kulivand M., Kafilzadeh F. 2015. Correlation between chemical composition, kinetics of fermentation and methane production of eight pasture grasses 37: 9-14.
- Madigan M. T., Martinko J. M., Bender K. S., Buckley D. H., Stahl D. A. 2015. *Brock Biología de los microorganismos*. Ed. Pearson Educación S. A. Madrid. pp. 738-739.
- Mackie R.I., White B.A., Bryant M.P. 1992. Methanogenesis, *Biochemistry*. En: *Encyclopedia of Microbiology* Lederbeg, J. ED. Academia Press, San Diego, CA, USA. p. 97
- McArthur J.M., Miltimore J.E. 1961. Rumen gas analysis by gas-solid chromatography. *Canadian Journal of Animal Science* 41: 187-196.
- Ogunbosoye D.O., Babayemi O.J. 2010. Potential values of some non-leguminous browse plants as dry season feed for ruminants in Nigeria. *African Journal of Biotechnology* 9: 2720-2726.
- Rymer C. Huntington J.A., Williams B.A., Givens D.I. 2005. *In vitro* cumulative gas production techniques: History, methodological considerations and challenges. *Animal Feed Science and Technology* 123-124: 9-30.
- Selmi H., Ben Gara A., Rekik B., Rouissi. 2011. Effect of the concentrate feed on *in vitro* gas production and methane in silico-sarde sheep. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science* 10: 346-350.
- Storm I., Hellwing A., Nielsen N., Madsen J. 2012. Methods for measuring and estimating methane emission from ruminants. *Animals* 2: 160-183.
- Takahashi J. 2005. Emission of GhG from livestock production in Japan. 2nd International Conference on Greenhouse gases and Animal Agriculture. Soliva, C. R. Takahashi J. & Kreuzer M. Eds. Publication Series. Institute of animal Science. ETH Zurich, Switzerland. p. 30
- Tona G.O., Ogunbosoye D.O. Ayano M.O. 2015. Nutritive value assessment of four crop residues by proximate composition and *in vitro* rumen fermentation techniques. *International Journal of Applied Agricultural and Apicultural Research* 11: 123-129.
- Yáñez-Ruiz D.R., Bannink A., Dijkstra J., Kebreab E., Morgavi D.P., O'Kiely P., Reynolds C.K., Schwarm A., Shingfield K.J., Yu Z., Hristov A.N. 2016. Design, implementation and interpretation of *in vitro* batch culture experiments to assess enteric methane mitigation in ruminants: A review. *Animal Feed Science and Technology* 216: 1-18.



CAMBIO CLIMÁTICO Y GANADERÍA: EL PAPEL DE LA AGROFORESTERÍA

CLIMATE CHANGE AND LIVESTOCK PRODUCTION: THE ROLE OF AGROFORESTRY

Soriano-Robles, R.^{1*}; Arias-Margarito, L.¹; Carbajal de Nova, M.¹; Almaraz-Buendía, I.²; Torres-Cardona, M.G.²

¹Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. San Rafael Atlixco No. 186, Col. Vicentina, Delegación Iztapalapa, Ciudad de México. C. P. 09340. ²Instituto de Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Rancho Universitario. Av. Universidad km 1. Ex-Hda. de Aquetzalpa AP 32. Tulancingo, Hidalgo, México. C. P. 43600.

*Autor de correspondencia: ramon@xanum.uam.mx

RESUMEN

Este trabajo hace una reseña de las causas y consecuencias de la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y del cambio climático. Hace un énfasis en la ganadería como uno de los principales contribuyentes a la emisión de GEI y por lo tanto al cambio climático. Se retoma la recomendación del IPCC usar la agroforestería como método de mitigación. Se mencionan los efectos positivos sobre el medioambiente causados por la agroforestería (captura de carbono y servicios ambientales) y se menciona los principios agroecológicos sobre los que debe fundamentar una agroforestería pecuaria de zonas áridas en nuestro país así como los retos científicos para fundamentarla.

Palabras clave: Cambio climático, zonas áridas, Región Mixteca, *Prosopis*, *Acacia*.

ABSTRACT

This paper summarizes the causes and consequences of the emission of Greenhouse Gases (GHG) and climate change. It emphasizes livestock production as one of the main contributors to GHG emission and therefore to climate change. The IPCC recommendation is resumed, to use agroforestry as a method of mitigation. The positive effects on the environment caused by agroforestry (carbon capture and environmental services) are mentioned, as well as the agroecological principles on which livestock agroforestry in arid zones in our country should be based, as well as the scientific challenges to substantiate it.

Keywords: Climate change, arid zones, Mixtec region, *Prosopis*, *Acacia*.

Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 2, febrero. 2018, pp. 70-74.

Recibido: diciembre, 2017. **Aceptado:** febrero, 2018.

INTRODUCCIÓN

En 1987 la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo (WCED) o comisión Bruntland, estableció lo que hoy conocemos como desarrollo sustentable. A lo largo de los años, el desarrollo sustentable y sus principales objetivos se han centrado en la preservación de los recursos naturales. Una amenaza muy seria para los recursos naturales, la satisfacción de las necesidades de presente generación y las venideras es el cambio climático.

La Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC), en su Artículo 1, define el cambio climático como "un cambio atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que además de variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables". La CMCC hace así una distinción entre el cambio climático atribuible a actividades humanas que altera la composición atmosférica y la variabilidad climática atribuible a causas naturales.

Las emisiones antropogénicas de Gases de Efecto Invernadero (GEI: CO₂, CH₄ y N₂O) han aumentado desde la era preindustrial, impulsada en gran parte por el crecimiento económico y demográfico, y ahora son más altas que nunca. Esto ha ocasionado que la atmósfera tenga concentraciones de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso (CO₂, CH₄ y NO₂) sin precedentes en al menos los últimos 800,000 años. Sus efectos, junto con los de otros conductores antropogénicos, han sido detectados en todo el sistema climático y son extremadamente propensos a ser la causa dominante del calentamiento observado global desde mediados del siglo XX. Una de las actividades humanas que más contribuye a la emisión de GEI es la ganadería (principal emisora de metano entérico). Sin embargo, existen opciones de mitigación de estas emisiones a través de prácticas como la agroforestería. El objetivo de este trabajo es revisar la emisión de GEI y el papel de distintas opciones y formas de agroforestería para su mitigación.

La influencia humana en el sistema climático es clara, y las emisiones antropogénicas recientes de gases de efecto invernadero son las más altas en la historia. Los recientes cambios climáticos han tenido un gran impacto en los sistemas humanos y naturales.

El calentamiento del sistema climático es inequívoco, y desde la década de 1950, muchos de los cambios observados no tienen precedentes durante décadas o milenios. La atmósfera y el océano se han calentado, las cantidades de nieve y hielo han disminuido y el nivel del mar ha aumentado.

Cada una de las últimas tres décadas ha sido sucesivamente más cálida en la superficie de la Tierra que cualquier década anterior desde 1850. El período de 1983 a 2012 fue probablemente el período más cálido de 30 años de los últimos 1,400 años en el hemisferio norte, donde tal evaluación es posible (confianza media). Los datos combinados de temperatura de la superficie terrestre y oceánica promediados globalmente calculados por una tendencia lineal muestran un calentamiento de 0.85 (0.65 a 1.06) °C durante el período de 1880 a 2012, cuando existen múltiples conjuntos de datos producidos

independientemente (IPCC, 2014) .

Estos cambios en la temperatura oceánica y la temperatura terrestre continuarán en los próximos años y seguirán causando incrementos en el nivel del mar, fenómenos meteorológicos extremos, sequías, riesgo de extinción de especies, aparición de enfermedades tropicales en entornos templados, amenazas a la seguridad alimentaria, entre otros fenómenos (IPCC, 2014)

Ganadería y gases de efecto invernadero (GEI)

La emisión de GEI es llevada cabo por diversos sectores de la economía mundial, entre ellos la industria, que contribuye con el 32 %, la agricultura, con el 25 %, transporte con el 10.5 %. En total, estos sectores contribuyen con el 67 % de emisiones mundiales de GEI.

La agricultura, forestería y otros usos de la tierra son responsables de un cuarto de las emisiones totales mundiales de GEI, principalmente originadas por la deforestación y la ganadería, así como por el uso y manejo de los nutrientes del suelo. Dentro del rubro de agricultura se incluye la ganadería y su principal fuente de emisión que es el metano (fermentación entérica). Esta representa aproximadamente el 5 % del total del rubro agricultura, forestería y otros usos de la tierra. Si esto lo sumamos al sub-rubro de cambios en el uso de la tierra y deforestación (principal emisión CO₂), que es de un 10 % o del total de GEI, ambas actividades suman el 15 % del total mundial.

Emisiones globales de esta importante categoría de fermentación entérica creció de 1.4 a 2.1 Gt de CO₂eq por año entre 1961 y 2010,

con promedio de tasas de crecimiento anual de 0.70 %. El crecimiento de las emisiones disminuyó durante la década de 1990 en comparación con el promedio a largo plazo, se incrementó rápidamente otra vez después del año 2000. En 2010, de 1.0 a 1.5 Gt de CO₂eq por año. Se estima que un 75 % de las emisiones totales de fermentación entérica (metano) provienen de países en desarrollo. Los principales emisores son en orden de importancia Asia, América Latina, África y Europa. De 2000 a 2010, el ganado bovino aportó la mayor parte las emisiones entéricas (75 % del total), seguida de búfalos, ovejas y cabras.

Adaptación y mitigación

La adaptación y la mitigación son estrategias complementarias para reducir y gestionar los riesgos del cambio climático. Reducciones importantes de emisiones de GEI en las próximas décadas pueden disminuir los riesgos en el siglo XXI y más allá, aumentar las perspectivas de adaptación efectiva, reducir los costos y desafíos de la mitigación a largo plazo y contribuyen a la recuperación del clima, caminos para el desarrollo sustentable.

De acuerdo con el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, 2014), la producción de GEI puede ser mitigada, y su emisión capturada. Esto se puede lograr en diferentes maneras: conservando bosques, turberas, matorrales y otras agrupaciones vegetales; reduciendo las pérdidas de carbono en el suelo (mediante cambios en la gestión dentro del mismo tipo de uso de la tierra; o al reducir las pérdidas de ecosistemas ricos en carbono, por ejemplo, la deforestación reducida, rehumectación de las turberas drenadas. También se puede

llevar a cabo el mejoramiento del secuestro de carbono en suelos, biota y duraderos. Se puede y se debe a través de incrementos en el área de ecosistemas ricos en carbono como los bosques (forestación, reforestación, agroforestería, silvoganadería), un aumento en el almacenamiento de carbono por unidad de área, por ejemplo, aumento de la densidad de siembra en los bosques (bancos de proteína), secuestro de carbono en los suelos (plantas con sistemas radiculares extensos), y el uso de madera en la construcción.

Entre las interacciones de la ganadería y la agroforestería se encuentra un apropiado manejo de las cargas ganaderas, bancos de proteína y manejo del pastoreo, así como la diversificación en la oferta de pastos y árboles forrajeros. Otras medidas de mitigation incluyen el mejoramiento genético (animales más productivos y por lo tanto que emiten menos GEI), y la agroforestería, incluyendo sistemas agropastorales y agrosilvopastoriles.

La agroforestería como estrategia de mitigación del cambio climático

La agroforestería es una forma de uso de la tierra que incluye el uso o aprovechamiento de árboles de distinta índole (maderable, frutal, ornamental, de plantación) combinados con cultivos y en ocasiones con animales. Desde los albores de la humanidad, cuando el ser humano empieza a convertirse en sedentario se da de manera casi natural el combinar árboles, cultivos y ganado en sistemas integrados de producción a pequeña y mediana escala.

La agroforestería configura, simultáneamente, una práctica e interdisciplina. Es una modalidad de uso de la tierra de tipo productivo, en singular, que incluye la asociación de especies vegetales leñosas con especies vegetales no leñosas, o especies vegetales leñosas con especies vegetales no leñosas y especies animales, con variadas opciones espacio temporales.

En términos técnicos, la agroforestería es la interdisciplina y modalidad de uso productivo de la tierra donde se presenta interacción espacial y/o temporal de especies vegetales leñosas y no leñosas, o leñosas, no leñosas y animales. Cuando todas son especies leñosas, al menos una se maneja para producción agrícola y/o pecuaria permanente (Ospina-Ante, 2006).

La agroforestería tiene su origen en Europa, de manera natural por la interacción de los distintos tipos de ganado con el paisaje circundante (por ejemplo los sistemas trashumantes o el sistema de finalización de cerdo bellotero en España). En América Latina la situación fue diferente, ya que esta actividad se origina con la ganadería extensiva que proponía el uso de pastos introducidos en potreros creados a partir de la deforestación de amplias áreas de selva en los trópicos latinoamericanos. Los ganaderos latinoamericanos introducen en sus cercos ramas de árboles en lugar de mampostería y dan origen a lo que hoy conocemos como cercos vivos. Por otro lado, dejan remantes de arbolado para uso e sombreadero. De acuerdo con Mbow *et al.* (2014), la agroforestería en África tiene una historia similar a la observada en América Latina. Los árboles dispersos en potreros así como algunos de los componentes en cercos vivos resultan ser consumidos por el ganado encontrándose presentes especies como *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia*, y *Glyricida sepium*, entre otras. Estas especies llegan al interés in-

mediato de científicos de los distintos países donde se da el fenómeno. Posterior a este evento y con la finalidad de aprovechar al máximo especies con altos contenidos de proteína, como la leucaena, nace el concepto de banco de forraje, y con ello la agroforestería pecuaria.

La interacción primaria de la agroforestería con la ganadería puede tener efectos compensatorios en el medio ambiente y en particular en relación al cambio climático ya que por un lado la siembra o conservación de árboles ayuda a fijar carbono y nitrógeno atmosférico (cuando se trata de leguminosas) y el ganado lo extrae. Un escenario óptimo es una ganadería que incorpore distintos tipos de árboles en distintos arreglos que incluyan bancos forrajeros y de distintas especies para no caer en el monocultivo, como se hace actualmente con la leucaena.

La agroforestería pecuaria debe servir no solo para alimentar al ganado (Murgueitio *et al.*, 2013), sino también para generar servicios ambientales bajo principios agroecológicos. Para maximizar la captura de carbono se debe elevar la eficiencia de la fotosíntesis en tres o cuatro estratos de vegetación; la fijación de nitrógeno y el reciclado de nutrientes con la finalidad de aumentar la producción de biomasa e incrementar el contenido de materia orgánica del suelo. Esto es factible porque los insumos o entradas de los sistemas silvopastoriles proceden en forma principal de procesos biológicos y no de combustibles fósiles o compuestos sintéticos. Los Sistemas Silvopastoriles Intensivos, como los bancos de proteína o aquellos que combinan cultivos, constituyen un buen ejemplo de intensificación de la agricultura por

la vía natural para la adaptación al cambio climático.

El incremento en la productividad primaria del agroecosistema ganadero es debido a la existencia de más árboles, arbustos forrajeros, arvenses y pastos vigorosos (Murgueitio *et al.*, 2013).

La agroforestería pecuaria ayuda a capturar carbono (o equivalentes de carbono cuando lo que se captura o fija es metano) a través del crecimiento vegetativo (follaje, frutos y raíces); con una mejor alimentación, el ganado contribuye a reducir emisiones de metano, mejorando la eficiencia del rumen del ganado, la retención de carbono en el suelo, reduciendo las pérdidas de nitrógeno hacia la atmósfera por rápido y eficiente reciclaje de excretas. Además de estos beneficios la agroforestería pecuaria ofrece otros servicios ambientales igualmente importante como la retención de agua de lluvia, reducción de la erosión y la recuperación de hábitats fragmentados y el consiguiente retorno y reproducción de fauna silvestre que va desde pequeños insectos hasta pequeños herbívoros y medianos mamíferos. A fin de lograr mayores beneficios tanto productivos como ambientales, se recomienda el uso de diversas especies agroforestales, y con ello aumentar la sostenibilidad del agroecosistema silvopastoril.

Algunos retos de la agroforestería

Uno de los primeros retos de la agroforestería es la diversificación. La agroforestería pecuaria se lleva a cabo generalmente en zonas de trópico húmedo y subhúmedo. Para esto se cuenta con un banco relativamente bajo de especies arbóreas o arbustivas como leucaena, guácimo, gliricidia, eritrina, ramón, y

titonia, entre otras. Sin embargo, el potencial es alto y más para el caso de México. Por ejemplo, en la Mixteca Baja de Oaxaca se ubicaron hasta 30 especies de árboles y arbustos forrajeros con buenas tasas de digestibilidad de la materia seca (arriba de 50 %), contenidos de proteína desde 12 hasta 24 % y altas tasas de preferencia y consumo por parte de los animales (Arias *et al.*, 2014). Además del gran potencial forrajero de estas especies, este estudio demuestra la biodiversidad con que se puede disponer para enriquecer los sistemas agrosilvopastoriles. Otro dato a destacar en la agroforestería de la Mixteca es que ésta se lleva hasta ahora en condiciones casi naturales en un clima árido y semiárido. De acuerdo con Carbajal de Nova (2017), la agroforestería de zonas áridas en México es posible utilizando los recursos descritos por Arias *et al.* (2014). Actualmente se trabaja en esa zona en el establecimiento de una plantación de tres especies (*Prosopis juliflora*, *Acacia cochlianta* y *Acacia farnesiana*) en un formato de banco de proteína. Cabe destacar que además de el aprovechamiento de follaje como forraje, también son muy aprovechadas las vainas o frutos de estas leguminosas nativas.

En este sentido, puede afirmarse que la Agroforestería de Zonas Áridas (AFZA) en México puede cumplir un papel importantísimo por el potencial de captura de carbono o sus equivalentes. Nuestro país tiene más de 60 % de su territorio en condiciones de clima semiárido hasta desértico y en este sentido ofrece un gran potencial por su diversidad y potencial para captura de carbono. Denominamos zona árida a aquella donde la precipitación pluvial esta en el orden de menos de 600

o 700 mm de agua al año, y nuestro país cumple con esa condición en amplias zonas. Otro reto no menor a seguir es el de primero dominar las técnicas de germinación y establecimiento de plantaciones silvopastoriles que de preferencia sigan las condiciones naturales dada la dificultad de establecerlas bajo sistemas de riego.

COSIDERACIONES FINALES

Muchas fuentes citan la importancia y potencial de la agroforestería pecuaria para mitigar e incluso mitigar los efectos del cambio climático. En este trabajo se destacaron algunos aspectos de la agroforestería a nivel mundial pero se dio énfasis a la agroforestería pecuaria de zonas áridas como opción importante para nuestro país dadas las extensiones de tierras áridas en México. Se destacó también el potencial de la biodiversidad mexicana en cuanto a recursos florísticos se refiere para fundamentar una agroforestería más biodiversa que no caiga en el monocultivo como en el caso de la *Leucaena*.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Metropolitana por el apoyo otorgado a través del consejo divisional. A distintas comunidades de la Mixteca Baja Oaxaqueña por el apoyo prestado para llevar a cabo estos proyectos de agroforestería de zonas áridas.

LITERATURA CITADA

- Arias L., Soriano R., Sánchez E., González C. 2014. Chemical composition and *in vitro* digestibility of fodder trees and shrubs consumed by goats in the Low Mixteca region of Oaxaca, Mexico. *Research Journal of Biological Sciences* 9: 92-97.
- Carbajal de Nova M. 2017. Establecimiento de una plantación silvopastoril en zonas áridas de México. Tesis de Maestría en Ciencias Agropecuarias. UAM Xochimilco. Ciudad de México.
- IPCC. 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Mbow C., van Noordwijk M., Luedeling E., Neufeldt H., Minang P.A., Kowero G. 2014. Agroforestry solutions to address food security and climate change challenges in Africa. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 6: 61-67.
- Murgueitio E., Chara D.J., Solarte J., Uribe F., Zapata C., Rivera J. 2013. Agroforestería Pecuaria y Sistemas Silvopastoriles Intensivos (SSPi) para la adaptación ganadera al cambio climático con sostenibilidad. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 26: 313-316.
- Ospina-Ante A. 2006. Agroforestería. Aportes conceptuales, metodológicos y prácticos para el estudio agroforestal. Asociación del Colectivo de Agroecología del Suroccidente Colombiano. Cali, Colombia.



ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN DE LAS UNIDADES DE PRODUCCIÓN GANADERAS A LOS RIESGOS CLIMÁTICOS

ADAPTATION STRATEGIES TO CLIMATE RISKS OF LIVESTOCK PRODUCTION UNITS

Vargas-López, S.^{1*}; Bustamante-González, A.¹; Zaragoza Ramírez, J.L.²; Morales-Jiménez, J.²; Vargas-Monter, J.³

¹Colegio de Postgraduados Campus Puebla. Carretera Federal México-Puebla km 125.5. Cholula, Puebla, México. C. P. 72760. ²Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Zootecnia. Carretera México-Texcoco km 38.5. Chapingo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230. ³Universidad Politécnica de Francisco I. Madero. Ingeniería en Producción Animal. Tepatepec, Hidalgo C. P. 42660.

*Autor de correspondencia: svargas@colpos.mx

RESUMEN

Con el objetivo de analizar las estrategias de adaptación a los riesgos climáticos en la ganadería, se revisaron los conceptos y se presentan estudios de caso en la producción de ovinos en zonas templadas y de bovinos de doble propósito en el trópico seco. Los eventos climáticos con probabilidad de riesgo más documentados en la ganadería del país son las sequías en las regiones áridas y los huracanes en los trópicos. Los productores de ovinos de Puebla y Tlaxcala utilizaron como estrategias de adaptación a los eventos climáticos extremos a la suplementación, venta de ovejas para reducir la carga ganadera, engorda ovinos en corral para mejorar la tasa de crecimiento de los corderos y se hizo coincidir a los cambios en la demanda de forraje con la disponibilidad del mismo. En bovinos de doble propósito se utilizó el cambio de fuente y la forma de alimentación, uso de alimento balanceado, engorda en corral, movilidad del ganado y la venta de pie de cría como las estrategias de adaptación para reducir el efecto potencial de la sequía. Para las estrategias futuras de adaptación debe tener un papel fundamental la capacitación a productores para incorporar nuevas tecnologías en cultivos forrajeros, conservación de forrajes y uso de sistemas silvopastoriles.

Palabras clave: Cambio climático, sequía, prácticas de alimentación, movilidad ganadera, engorda, bovinos, ovinos.

ABSTRACT

In order to analyze the adaptation strategies to climate risks in livestock production, concepts were reviewed and case studies are presented in sheep production systems in temperate zones and bovine dual purpose in the dry tropics. The most often documented climate events with probability of risks in livestock production in the country are droughts in arid regions and hurricanes in the tropics. Among sheep producers in Puebla and Tlaxcala, the adaptive strategies to extreme climate events were supplementation, sheep sale to reduce the stocking rate, fattening sheep in the pen to improve the growth rate of lambs, and matching the

Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 2, febrero. 2018. pp: 75-80.

Recibido: diciembre, 2017. **Aceptado:** febrero, 2018.



changes in forage demand with its availability. Among producers of dual-purpose cattle the following were used as adaptation strategies to reduce the potential effect from drought: change of source and form of feeding, use of balanced feed, fattening in the farmyard, mobility of the cattle and sale of the breeding stock. For future adaptation strategies, training of producers to incorporate new technologies in forage crops, forage conservation and the use of silvopasture systems should play a fundamental role.

Keywords: Climate change, drought, feeding practices, livestock mobility, fattening, bovines, sheep.

INTRODUCCIÓN

La ganadería como parte del modo de vida de las familias del medio rural está sujeta a los riesgos climáticos (Conde-Álvarez y Saldaña-Zorrilla, 2007; Alary *et al.*, 2014). El riesgo climático representa la probabilidad de una amenaza hidro-meteorológica (Egeru *et al.*, 2016) que afecta el modo de vida, en este caso a los ganaderos. Los eventos climáticos extremos que pueden causar daño a la ganadería son las sequías, lluvias torrenciales, ondas de calor e intensidad de los ciclones tropicales (Conde-Álvarez y Saldaña-Zorrilla, 2007). Para el caso de México los trópicos son más afectados por las altas precipitaciones, las zonas semiáridas por la falta de lluvias y las zonas templadas por el frío (Saldaña-Zorrilla *et al.*, 2008; Sánchez *et al.*, 2012). De todos estos eventos, son las sequías las más estudiadas en el territorio nacional (Contreras, 2005).

Los productores generalmente están familiarizados con la presencia de eventos climáticos y han elaborado un conjunto de prácticas, procesos y han gestionado apoyos de las instituciones para evitar riesgos (Egeru, 2016). El presente estudio tuvo como objetivo analizar las estrategias de adaptación a los riesgos climáticos en la ganadería mediante la revisión de los conceptos y estudios de caso en la producción de ovinos y bovinos de doble propósito.

Definición de riesgo climático y estrategia de adaptación en la ganadería

Riesgo climático

El riesgo puede expresarse como la probabilidad de un

resultado no deseado, en función de la posible aparición de eventos climáticos extremos y la susceptibilidad de las unidades de producción que están expuestas (Saldaña-Zorrilla *et al.*, 2008). También, los productores están familiarizados con la variabilidad climática y, a lo largo de su historia de producción en la región han elegido prácticas, germoplasma e insumos para las características climáticas de sus circunstancias específicas (Tucker *et al.*, 2010).

Los productores perciben como riesgos a la falta de lluvia, el frío y fuertes vientos (Tucker *et al.*, 2010), huracanes (Schipper y Pelling, 2006), inundaciones y lluvias erráticas (Lema y Majule, 2009). De acuerdo con Debela *et al.* (2015), existe diferente grado de susceptibilidad a las condiciones de estrés, como los períodos de sequía más frecuentes y más largos en un clima cambiante, enfatizando que las especies animales de mayor tamaño corporal son más vulnerables a la escasez de alimento durante la sequía, que los animales de talla pequeña y lo mismo pasa en los hatos con alta cantidad de animales si se comparan con los hatos pequeños.

En el caso de México, los eventos climáticos extremos que han causado cada vez más daños son las sequías en el norte del país y las inundaciones en el sur (Saldaña-Zorrilla *et al.*, 2008). A manera de ejemplo, se puede citar el impacto del huracán Max en la Costa Chica de Guerrero en 2017, el cual afectó a 225 ganaderos, con 804 bovinos siniestrados, 10 productores de caprinos con 101 caprinos muertos, y 19 productores de ovinos con 262 animales muertos, más daños en infraestructura y equipo de bombeo de agua.

Las estrategias de adaptación a los riesgos climáticos

La adaptación es un proceso de cambio deliberado, frecuente en respuesta a múltiples presiones y cambios que afectan a la vida de las personas (Stringer *et al.*, 2009). Las estrategias de adaptación se conceptualizan como la capacidad de las personas o grupos para hacer cambios relevantes a sus sistemas de producción, que les da la capacidad para continuar satisfaciendo sus necesidades de alimentos y económicas, cuando ocurre un evento externo (Zorom *et al.*, 2013). Lo que una estrategia de adaptación busca es reducir la vulnerabilidad, moderar el daño potencial y así hacer frente a los problemas adversos (Bryan *et al.*, 2013). Cuando el concepto se aplica a una unidad de producción hace referencia a la capacidad para transformar gradualmente su estructura, funcionamiento u organización para sobrevivir bajo

amenazas que ponen en peligro su existencia (Saldaña-Zorrilla *et al.*, 2008).

Las estrategias de adaptación para los eventos climáticos en ganadería son: la diversificación y el cambio o complemento de la alimentación en el ganado en tiempos de escasez (Morton, 2007; Müller *et al.*, 2015). Por otra parte, la reducción de la carga ganadera, se basa en la idea de manejar el ganado para que coincida con la demanda y el suministro de forraje (Schulze *et al.*, 2016). También, se pueden introducir diferentes razas de ganado que son más resistentes a la sequía (Below *et al.*, 2010) y el traslado del ganado a lugares más seguros en el caso de huracanes (Morainea *et al.*, 2017).

En el caso de México, Camposa *et al.* (2014) establecen que la gente se está adaptando claramente al reconocer las amenazas y aprovechar las ventajas locales. Sin embargo, no se encontró información de estrategias de adaptación. La única literatura consultada describe a la producción de ganado como parte de la diversificación del sistema milpa (Eakin, 2005).

Casos de estudio

Área de estudio

Para describir la importancia de los riesgos climáticos por los productores se presentarán dos casos de estudio de las estrategias que los productores siguen para reducir el efecto potencial de las sequías. El primer caso hace referencia a 189 unidades de producción de ovinos en los estados de Puebla y Tlaxcala. El clima dominante es el C(w2)(w), templado subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura oscila de 5 a 26°C. La precipitación tiene un rango de 400 a 1,200 mm. La producción de ovinos se realiza en sistemas agrosilvopastoriles con uso de tierras agrícolas después de las cosechas y agostaderos. Durante el invierno las heladas, las escasez de lluvias y bajas temperaturas limitan la producción de forrajes.

El segundo caso se refiere a 74 unidades de producción de bovinos de doble propósito en la Costa Chica del estado de Guerrero. El clima es cálido subhúmedo. La temperatura promedio es de 25°C, con una mínima de 18°C y máxima de 32 °C. La precipitación promedio es de 1,200 mm anuales, con lluvias en los meses de julio a septiembre. La finalidad productiva es la cría de bovinos de doble propósito, con ordeña estacional y la venta de toretes. Los datos se obtuvieron mediante cuestionario, que incluía información de riesgos climáticos y las prácticas de adaptación.

El análisis de los datos se realizó con estadística descriptiva y de componentes principales cualitativos con el procedimiento PRINQUAL del SAS para determinar la preferencia de las prácticas de adaptación por los productores.

Las estrategias de adaptación

En los dos casos que se presentan a continuación se describe como los productores destinan recursos económicos, capacidades y tiempo para contrarrestar las sequías.

La cría de ovino del Valle de Puebla y Tlaxcala la realizan productores a pequeña escala (55 ovinos en promedio) y en condiciones de temporal. El tamaño promedio del rebaño se interpretó como una estrategia para ajustarse a la disponibilidad de alimento, cubrir necesidades económicas mínimas de la familia campesina y realizar el menor gasto posible para no afectar la economía familiar (Müller *et al.*, 2015). La cría de ovinos como medio de vida, son apreciados por ser de talla pequeña, por requerir poca inversión y demandar menos forraje en la época de sequía. Estas consideraciones se han interpretado como parte de la estrategia que emplean los productores a pequeña escala del sur de Etiopía, para enfrentar el cambio climático (Debela *et al.*, 2015).

La decisión importante para los productores es almacenar esquilmos agrícolas y poco grano para alimentar a los ovinos (Cuadro 1), lo cual es común entre productores a pequeña escala (Bryan *et al.*, 2013; Müller *et al.*, 2015). Una decisión menor es organizarse para aprovechar los apoyos del gobierno destinados a la mejora de corrales de alojamiento y recibir asistencia técnica. Pocos incluyen en sus decisiones reducir la carga animal para enfrentar la escasez de alimentos, debido a que implica reducir el capital invertido en el rebaño de ovinos (Schulze *et al.*, 2016). Las decisiones sobre salud animal son las necesarias para evitar la muerte de los ovinos.

El análisis por componentes principales revela que el grupo de productores de ovinos de subsistencia (32 ovinos), hace uso limitado de paja de avena, grano y rastrojo de maíz para alimentar a sus ovinos (izquierda de la Figura 1). El grupo de productores de la derecha de la Figura 1, crían rebaños de tamaño medio (54 ovinos) a grandes (180 ovinos), sus estrategias de adaptación son la venta de ovejas para reducir la carga ganadera, la engorda de ovinos en corral para mejorar

Cuadro 1. Prácticas agrupadas en las estrategias de adaptación indicadas en la literatura y que fueron realizadas por productores de ovinos en los estados de Puebla y Tlaxcala para reducir el efecto de la sequía.

Estrategia de adaptación	Práctica	n	%
Cambio de fuente y forma de alimentación	Uso de cebada	5	2.9
	Uso de grano de maíz-Rastrojo	156	90.7
	Engorda en corral	20	11.6
	Compra de pacas de rastrojo	16	9.3
	Uso de avena	59	34.3
Reducción de carga animal	Venta	28	16.3
Participación organizada de los productores	Construcción de corrales	43	25
	Asistencia técnica	60	34.9
Cuidado de la salud animal	Uso de medicinas	33	19.2

la tasa de crecimiento de los corderos y el ingreso familiar, el hacer coincidir los cambios en la demanda de forraje con la disponibilidad del mismo (Schulze *et al.*, 2016). La organización de los productores logró el acceso a la asistencia técnica y obtener apoyo financiero para construir corrales. La compra de forraje para cubrir la demanda es limitada. Para enfrentar el riesgo por el frío y por sequía se requiere entrenamiento mediante parcelas demostrativas con cultivos de avena-veza o cereales para ensilado.

En el sistema de cría de bovinos de doble propósito de la Costa Chica de Guerrero los productores tienen en promedio 74 años de edad, con escolaridad promedio de nivel secundaria, experiencia de 30 años en la cría de ganado, 50 ha de tierra y 55 bovinos en el rebaño. Estos productores identificaron a la sequía como el principal problema que enfrentan para mantener la condición corporal de las vacas y la producción de leche. La princi-

pal estrategia de adaptación es el cambio en la fuente de alimento y forma de alimentar su ganado, como ocurre en sistemas de producción de bovinos en África (Silvestri *et al.* (2012). Recurrir a estas prácticas implica el uso eficiente de los recursos forrajeros del cultivo del maíz y de alimentos balanceados disponibles en la región a un alto costo para el productor.

El apoyo económico y técnico para la construcción del corral para engorda de bovinos es gestionada a través de las asociaciones ganaderas locales, como un procedimiento establecido en las regiones ganaderas (Gazzano y Achkar, 2015). La renta de pasturas se realiza cuando las praderas de la unidad de producción no soportan la carga ganadera. El intercambio con el mercado, además de la adquisición de alimentos, se da con la venta del pie de cría, como un medio para ajustar la carga ganadera y la compra de agua que consume el ganado (Cuadro 2).

El lado izquierdo de la Figura 3 revela la existencia de unidades de producción pequeñas de bovinos de doble propósito (32 bovinos), que utilizan subproductos del cultivo del maíz como principal alimento para el ganado, no es común el uso de raciones balanceadas y la

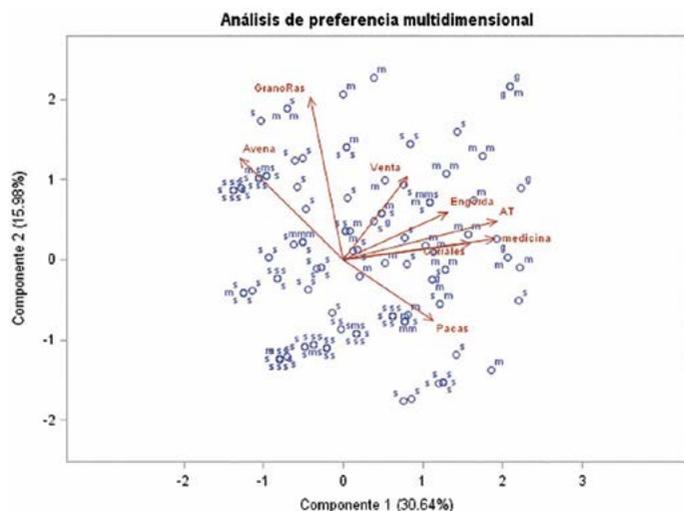
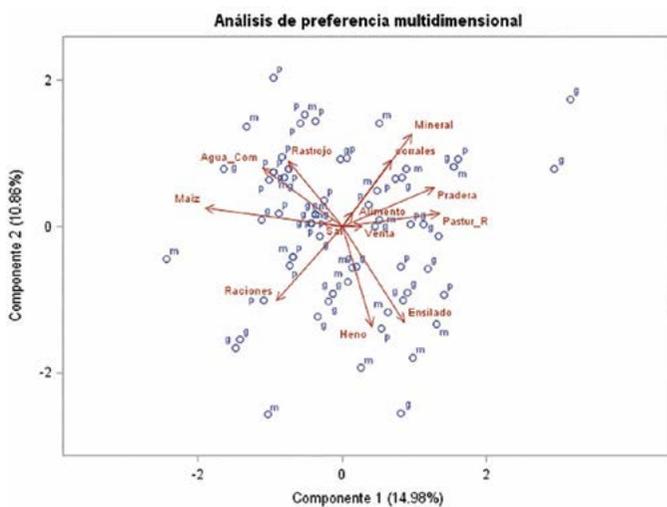


Figura 1. Priorización de las estrategias de adaptación para evitar el impacto potencial de la sequía en el Valle de Puebla y Tlaxcala. GranoRas, grano-rastrojo; AT, asistencia técnica; s, 32 ovinos; m, 54 ovinos; g, 180 ovinos.

Cuadro 2. Estrategias de adaptación para evitar el efecto de la sequía en bovinos de doble propósito en la Costa Chica de Guerrero.

Estrategia de adaptación	Prácticas	n	%
Cambio de fuente y forma de alimentación	Uso de alimento comercial	44	59.5
	Uso de grano de maíz	49	66.2
	Uso de rastrojo	15	20.3
	Uso de minerales	22	29.7
	Uso de sal común	1	1.4
	Uso de heno de pasto	11	14.9
	Uso de ensilado	15	20.3
	Uso de minerales	22	29.7
	Elaboración de raciones	5	6.8
Movilidad de animales	Renta pasturas	13	17.6
Manejo de praderas	Mejora condición de praderas	2	2.7
Intercambio con el mercado	Venta de bovinos	1	1.3
	Compra de agua	13	17.6

**Figura 2.** Priorización de las estrategias de adaptación para la sequía relacionada con el tamaño de rebaño en productores de bovinos de doble propósito en la costa chica de Guerrero, México.

compra de agua. A la derecha de la Figura 3, se ubican las unidades de producción de tamaño mediano (54 bovinos) a grandes (180 cabezas) que emplean conocimientos para el manejo de praderas, elaboración de ensilado, uso de minerales y de alimento balanceado. Esto se interpretó como una oportunidad para superar situaciones adversas de la sequía (Howden *et al.*, 2008). Aunque este tipo de productores tratan de intensificar el sistema de producción con el uso de insumos externos, para enfrentar las consecuencias de la sequía, es recomendable que la búsqueda de opciones dentro del propio sistema de producción satisfaga las necesidades de alimento y nutrientes de los bovinos de

doble propósito (Henry *et al.*, 2012). Ayudaría mucho el mejor entendimiento de los beneficios del sistema silvo-pastoril y las especies forrajeras que pueden ser usadas.

CONCLUSIONES

El evento climático que más se ha reconocido que causa impacto en la ganadería es la sequía. Se clasificaron dos grupos de productores por el uso de prácticas para reducir el efecto potencial de la sequía en el ganado, los productores a pequeña escala que utilizan los forrajes y granos disponibles en la unidad de producción, y los productores con hatos de bovinos medianos y grandes intensifican su sistema de producción con el uso de la engorda en corral a base de insumos externos. Las estrategias para contrarrestar el efecto potencial de los eventos climáticos no difieren de lo que se realizan en otras regiones ganaderas frágiles.

**Figura 3.** Condición de la pradera y del ganado en la sequía del 2016 en la cría de bovinos de doble propósito en la costa chica de Guerrero, México.

LITERATURA CITADA

- Alary V., Messad S., Aboul-Naga A., Osman M.A., Daoud I., Bonnet, Tourrand J.F. 2014. Livelihood strategies and the role of livestock in the processes of adaptation to drought in the coastal zone of western desert (Egypt). *Agricultural Systems* 128: 44-54.
- Below T., Artner A., Siebert R., Sieber S. 2010. Micro-level practices to adapt to climate change for African small-scale farmers: A review of selected literature. *Environ. Prod. Technol. Division*, 953. Consultado noviembre 2017. http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/rome2007/docs/Micro-level_Practices_to_Adapt_to_Climate_Change.pdf
- Bryan E., Ringler C., Okoba B., Roncoli C., Silvestri S., Herrero M. 2013. Adapting agriculture to climate change in Kenya: Household strategies and determinants. *Journal of Environmental Management* 114: 26-35.
- Camposa M., Velázquez A., McCallb M. 2014. Adaptation strategies to climatic variability: A case study of small-scale farmers in rural Mexico. *Land Use Policy* 38: 533-540.
- Conde-Álvarez C., Saldaña-Zorrilla S.O. 2007. Cambio climático en América Latina y el Caribe: Impactos, vulnerabilidad y adaptación. *Revista Ambiente y Desarrollo* 23: 23-30.
- Contreras S.C. 2005. Las sequías en México durante el siglo XIX. *Investigaciones Geográficas* 56: 118-133.
- Debela N., Mohammed C., Bridle K., Corkrey R., McNeil D. 2015. Perception of climate change and its impact by smallholders in pastoral/agropastoral systems of Borana, South Ethiopia. *Springer Plus*. 4: 236
- Eakin H. 2005. Institutional change, climate risk, and rural vulnerability: Cases from Central Mexico. *World Development* 33: 1923-1938.
- Egeru A. 2016. Climate risk management information, sources and responses in a pastoral region in East Africa. *Climate Risk Management* 11: 1-14.
- Gazzano I., Achkar A. 2015. Amenaza, vulnerabilidad y riesgo: estrategias de respuesta de ganaderos familiares en el área protegida Esteros de Farrapos - Uruguay. V Congreso Latinoamericano de Agroecología – SOCLA. La Plata, Argentina.
- Henry B., Charmley E., Eckard R., Gaughan J.B., Hegarty R. 2012. Livestock production in a changing climate: adaptation and mitigation research in Australia. *Crop and Pasture Science* 63: 191-202.
- Howden S.M., Crimp A.S.J., Stokes C.J. 2008. Climate change and Australian livestock systems: Impacts, research and policy issues. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48: 780-788.
- Lema M.A., Majule A.E 2009. Impacts of climate change, variability and adaptation strategies on agriculture in semiarid areas of Tanzania: The case of Manyoni District in Singida Region, Tanzania. *African Journal of Environmental Science and Technology*. 3: 206-218.
- Morainea M., Melaca P., Ryschawya J., Durua M., Therond O. 2017. A participatory method for the design and integrated assessment of crop-livestock systems in farmers' groups. *Ecological Indicators* 72: 340-351.
- Morton J.F. 2007. The impact of climate change on smallholder and subsistence agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104: 19680-19685
- Müller B., Schulze J., Kreuer D., Linstädter A., Frank K. 2015. How to avoid unsustainable side effects of managing climate risk in drylands - The supplementary feeding controversy. *Agricultural Systems*. 139: 153-165.
- Saldaña-Zorrilla S.O. 2008. Stakeholders' views in reducing rural vulnerability to natural disasters in Southern Mexico: Hazard exposure and coping and adaptive capacity. *Global Environmental Change* 18: 583-597.
- Sánchez C.I., Inzunza I.M.A., Valencia C., Alonso E., González B.J.L., González C.G., Velásquez V.M. 2012. Variabilidad climática y productividad agrícola en zonas con errático régimen pluvial. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3: 805-811.
- Schipper L., Pelling M. 2006. Disaster risk, climate change and international development: scope for, and challenges to, integration. *Disasters* 30: 19-38.
- Schulze J., Frank K., Müller B. 2016. Governmental response to climate risk: Model-based assessment of livestock supplementation in drylands. *Land Use Policy* 54: 47-57.
- Silvestri S., E. Bryan, C. Ringler, M. Herrero, B. Okoba. 2012. Climate change perception and adaptation of agro-pastoral communities in Kenya. *Regional Environmental Change* 12: 791-802.
- Stringer L.C., J.C. Dyer, M.S. Reed, A.J. Dougill, C. Twyman, D. Mkwambisi. 2009. Adaptations to climate change, drought and desertification: local insights to enhance policy in southern Africa. *Environmental Science and Policy* 12:748-765.
- Tucker C.M., H. Eakin, E.J. Castellanos. 2010. Perceptions of risk and adaptation: Coffee producers, market shocks, and extreme weather in Central America and Mexico. *Global Environmental Change* 20: 23-32.
- Zorom M., B. Barbier, O. Mertz, E. Servat. 2013. Diversification and adaptation strategies to climate variability: A farm typology for the Sahel. *Agricultural Systems* 116: 715.



EL USO DE LA CROMATOGRAFÍA DE GASES EN INVESTIGACIONES DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DEL SECTOR PECUARIO

THE USE OF GAS CHROMATOGRAPHY IN GREENHOUSE GAS EMISSION RESEARCH IN THE LIVESTOCK SECTOR

Saynes-Santillan, V.¹; Ramírez-Briebesca, E.¹

¹Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230.

*Autor de correspondencia: vinisa.saynes@colpos.mx

RESUMEN

Las actividades agropecuarias proveen funciones alimentarias, económicas y sociales de vital importancia para el ser humano, aunque también deterioran los suelos, el agua y la biodiversidad, y contribuyen al cambio climático por los gases de efecto invernadero (GEI) producidos en diferentes etapas de la cadena productiva. En México las actividades pecuarias ocupan más de la mitad del territorio, por lo cual es importante medir y monitorear las emisiones de este sector. La cromatografía de gases es una herramienta útil para cuantificar las emisiones de GEI. Este trabajo se enfoca en mostrar la importancia de esta herramienta en la determinación de las emisiones de GEI en diferentes etapas de la producción pecuaria. El uso de la CG en estudios de emisiones puede reducir la incertidumbre al contribuir a mejorar los factores de emisión en el sector pecuario. La implementación de esta metodología requiere la formación de grupos de trabajo que coadyuve al fortalecimiento de capacidades, a la obtención de fondos para mejorar la infraestructura de laboratorios y a la construcción de sinergia entre cuerpos académicos, el sector privado y el gobierno.

Palabras clave: Cambio climático, ganadería, GEI, CO₂, CH₄, N₂O, cromatografía, CG.

ABSTRACT

Agricultural and livestock activities provide food, economic and social functions of crucial importance for human development, but they also deteriorate soils, water and biodiversity, and contribute to climate change by greenhouse gases (GHG) produced at different stages of the production chain. In Mexico, livestock activities occupy more than half of the territory, so it is important to measure and monitor the emissions of this sector. Gas chromatography is a useful tool for quantifying GHG emissions. The focus of this work is on showing the importance of this tool in the determination of GHG emissions in different stages of livestock production. The use of GC in emissions studies can reduce the uncertainty by improving emission factors in the livestock sector. The implementation of this methodology requires the formation of working groups that contribute to strengthening skills, obtaining funds to improve the infrastructure of laboratories, and constructing synergy between academic, private and governmental groups.

Keywords: Climate change, livestock production, GHG, CO₂, CH₄, N₂O, chromatography, GC.

INTRODUCCIÓN

Los gases de efecto invernadero (GEI) emitidos por las actividades antropogénicas a nivel mundial son principalmente dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). Aunque las actividades del sector agropecuario son la cuarta causa de emisiones antropogénicas de GEI, éste sector emite grandes cantidades de los llamados gases que no son CO₂ (Montzka *et al.*, 2011) como el N₂O y el CH₄ los cuales tienen un poder de calentamiento 265 y 28 veces mayor respectivamente en comparación con el CO₂ (IPCC, 2013). Por su poder de calentamiento, pequeños cambios en la concentración de estos gases en la atmósfera pueden contribuir significativamente al calentamiento global en comparación con cambios similares en flujos de CO₂ (Robertson, 2004). Por esta razón, es importante medir y monitorear las emisiones del sector agropecuario, ya que la remoción de gases como el N₂O de la atmósfera podría tener un impacto 300 veces mayor que remover la misma masa de CO₂ (Robertson, 2004). Adicionalmente, si no se intensifican los esfuerzos de mitigación de estos gases, las emisiones de GEI del sector pecuario podrían neutralizar los esfuerzos de mitigación y de captura de carbono de otros sectores (Riple *et al.*, 2014).

Emisiones de GEI en el sector pecuario a nivel global

El sector pecuario provee funciones alimentarias, económicas y sociales de alto valor en nuestras sociedades, pero utiliza y deteriora parte importante de los recursos naturales. Se estima que 20 mil millones de animales vinculados a las actividades pecuarias utilizan 30 % de la superficie terrestre para el pastoreo, una tercera parte de la superficie agrícola se utiliza en la producción de su alimentación y 32 % del agua dulce la utilizan directamente 1.3 billones de productores y comerciantes (Thornton, 2010). Además de impactar negativamente los suelos, el agua y la biodiversidad, las actividades del sector pecuario también tienen un papel fundamental en el cambio climático por los GEI producidos en diferentes etapas de la cadena productiva. Las actividades ganaderas representan 14.5 % de las emisiones antropogénicas mundiales (Gerber *et al.*, 2013). La mayor parte de estas emisiones corresponden al CH₄ (44 %), mientras que las emisiones de N₂O contribuyen con 29 % y el CO₂ con 27 % (Gerber *et al.*, 2013). La fermentación entérica del ganado vacuno contribuye con 39 % a las emisiones globales del sector pecuario, seguidas del 16 % proveniente del N₂O emitido con la aplicación de fertilizantes a cultivos forrajeros y 13 % correspondiente a emisiones de CO₂ generadas durante la producción del alimento para ganado (Gerber *et al.*, 2013).

Emisiones de GEI en el sector pecuario en México

En México la ganadería es una actividad esencial en la economía, pues representa 32 % del PIB agropecuario (en 2013), y emplea 10.1 % de la población económicamente activa (2012) de este sector (Banxico, 2014; INEGI, 2014; SAGARPA). Las actividades pecuarias ocupan 56 % del territorio nacional generando deterioro ambiental y aportando entre un 7 y 64 % a las emisiones nacionales totales y del sector agropecuario, respectivamente (INECC, 2015). En el sector agropecuario mexicano las emisiones de CH₄ se generan fundamentalmente mediante fermentación entérica, produciendo la mayoría de las emisiones de este sector contribuyendo con ~63 % al total de las

emisiones de las actividades agropecuarias. Las emisiones de N₂O se derivan del uso de fertilizantes nitrogenados y contribuyen con ~31 % a las emisiones del sector agropecuario.

¿Cuál es la importancia de medir de forma directa las emisiones de GEI?

La medición directa de las emisiones del sector pecuario es relevante porque: 1) son la tercera causa a nivel nacional, pero dentro del sector la mayoría de las emisiones provienen de las actividades pecuarias, fundamentalmente de la fermentación entérica; 2) las actividades pecuarias ocupan más de la mitad del territorio, y sería adecuado monitorear las consecuencias ambientales de este enfoque extensivo, sobre todo en términos de emisiones de GEI; 3) la fermentación entérica es la causa principal de las emisiones pecuarias, pero se le debe prestar más atención a las emisiones generadas en toda la cadena de producción, incluyendo aquellas emisiones producidas por el estiércol y su manejo; 4) es necesario fortalecer e idear nuevas estrategias de mitigación en el sector pecuario, y para ello el primer paso es la medición de las emisiones. Posteriormente se pueden utilizar modelos y herramientas web pero es necesario obtener datos para su calibración.

Para medir, monitorear y modelar las emisiones del sector pecuario es necesario realizar mediciones directas de las emisiones generadas en diferentes etapas de la producción ganadera. Una herramienta para lograrlo es la colecta de muestras in situ y su posterior análisis mediante cromatografía de gases (CG). El presente trabajo se enfoca en mostrar la importancia de esta herramienta

en la determinación de las emisiones de GEI en diferentes etapas de la producción pecuaria. La medición de las emisiones asociadas a la ganadería tiene altas incertidumbres por la falta de esquemas integrados en su determinación (Gerber *et al.*, 2013). El uso de la CG en estudios de emisiones puede reducir la incertidumbre al contribuir a mejorar los factores de emisión en el sector pecuario. Por ejemplo, el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) establece que la cantidad de CH₄ emitida por una población o subgrupo de rumiantes puede calcularse multiplicando la tasa de emisión por animal (factor de emisión en kg de CH₄ por animal), por el número de animales dentro del subgrupo. La incertidumbre de ésta estimación depende en gran medida del factor de emisión, es decir de la cuantificación la emisión de CH₄ bajo determinadas circunstancias de alimentación, clima, etc.

Frecuentemente en las guías desarrolladas por el IPCC se utilizan factores de emisión para estimar emisiones en varias categorías (IPCC, 2007). Estos factores de emisión se han obtenido a partir de investigaciones previas realizadas en diferentes regiones. Por ejemplo, se asume que la emisión de CH₄ es una fracción constante emitida del estiércol. Sin embargo este tipo de metodologías donde se utilizan factores por defecto podrían no considerar los distintos regímenes de precipitación, diferencias entre cultivos, excretas, dietas, especies de animales, propiedades de los suelos etc. de un país o región. Las mediciones directas de las emisiones pueden contribuir a mejorar los factores de emisión al considerar factores específicos y diferentes escenarios.

El reto de la medición de flujos de gases

Previo al análisis cromatográfico de las muestras de gas, éstas deben ser colectadas. Esto es un reto ya que el transporte de gases ocurre bajo la influencia de gradientes de concentración (flujos de difusión) y de gradientes de presión (flujo de masas). Frecuentemente la concentración de los gases en los suelos, excretas y en los animales es varios órdenes de magnitud mayor en

comparación con las concentraciones atmosféricas. Si la metodología perturba la concentración de los gases en estas matrices puede distorsionar el gradiente lo que conduciría a errores experimentales. Aunado a esto, los gases son extremadamente heterogéneos en el tiempo y espacio. Por ello es un desafío colectar muestras representativas, en tiempos representativos y cuantificar de forma precisa la variabilidad espacial y temporal de los flujos de gases (Luo y Zhou, 2006).

Para enfrentar este reto se han desarrollado diferentes métodos de medición. Para la cuantificación de las emisiones de GEI provenientes de las excretas y de los suelos abonados con excretas los métodos utilizados más frecuentemente implican el uso de cámaras, mediante las cuales es posible obtener mediciones directas de los flujos de gases en la superficie de la matriz requerida (Figura 1).

Las cámaras dinámicas pueden tener sistemas abiertos o cerrados dependiendo de la presencia o ausencia de

circulación de aire a través un sensor infrarrojo (IRGA) para detección de CO₂. Las cámaras estáticas cerradas aíslan una parte de la atmósfera ambiental durante el periodo de medición, posteriormente la concentración de gases en la cámara se mide mediante trampas alcalinas colocadas en el interior de las cámaras, aunque con este método únicamente puede cuantificarse la emisión

de CO₂. Alternativamente, las emisiones de CO₂, N₂O y CH₄ pueden medirse colectando muestras de aire del interior de las cámaras en diferentes tiempos para posteriormente ser analizadas mediante CG (Figura 2). Este método no es caro, es de fácil implementación en el campo, las cámaras pueden colocarse en diferentes sustratos como suelos, establos, excretas y pueden realizarse un mayor número de repeticiones en comparación con otros métodos como los sensores portátiles.

Para cuantificar las emisiones derivadas de la fermentación entérica en los rumiantes se puede usar la técnica de hexafluoruro de azufre (SF₆), en la cual nuestro grupo

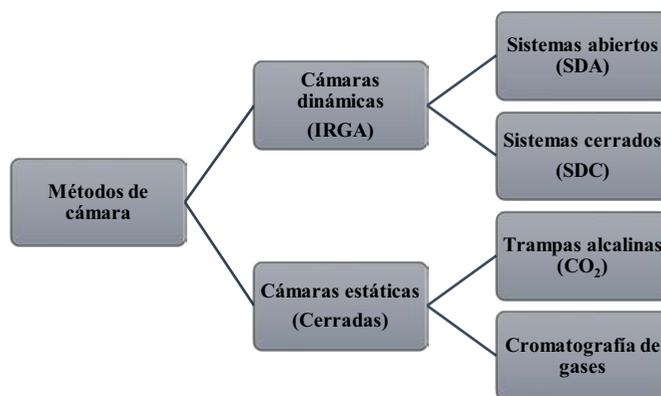


Figura 1. Clasificación de los métodos para medición de flujos de gases utilizando diferentes tipos de cámaras. (Luo y Zhou, 2006). Infrared Gas Analyzer (IRGA), Sistema Dinámico Abierto (SDA), Sistema Dinámico Cerrado (SDC).

de trabajo cuenta con experiencia satisfactoria. Ésta se realiza en cuatro pasos mostrados en la Figura 3.

Los recipientes colectores de gas entérico y respiratorio del rumiante se colectan con recipientes de acero inoxidable de 0.5. Los tubos previamente se limpian con nitrógeno y se mantienen al vacío (menos de 70 mbares) a través de una válvula de conexión rápida Swagelok®, que permite mantener cerrado el tubo durante el periodo en que no se colecta muestra. Una vez calibrados en vacío, dos recipientes se colocan en el bozal de cada animal, permitiendo la obtención de muestras duplicadas (Figura 4). Las válvulas reguladoras de flujo permiten calcular el tiempo de llenado de los tubos, posteriormente los tubos se retiran y se extraen las muestras por duplicado y es inyectada para su análisis cromatográfico. El procedimiento descrito asegura que los cromatogramas sean muy limpios y confiables. En el caso de los rumiantes el SF6 se utiliza como un marcador externo (con un tiempo de retención de la cromatografía 9 minutos y calibrado con estándar de 25 a 250 ppt) para calcular las emisiones de CH4, aplicando la siguiente fórmula (Ec. 1):

$$CH_4(g/d) = TPSF_6(g/d) \times [CH_4] / [SF_6]$$

Dónde: *TPSF6* es la tasa de liberación de SF6 de la cápsula, [CH4] y [SF6] son las concentraciones de los gases obtenidos por cromatografía.

La cromatografía de gases y la detección de GEI

La CG es una técnica analítica utilizada comúnmente con fines de investigación para identificar y cuantificar diferentes compuestos en una mezcla. Esta técnica permite la detección de compuestos en concentraciones muy bajas, en pequeñas cantidades y de una gran variedad de matrices siempre y cuando los compuestos sean estables térmicamente y razonablemente volátiles. En la CG están involucradas dos fases, una móvil y una estacionaria. La fase móvil, frecuentemente llamada gas acarreador es un gas inerte por ejemplo helio, argón o nitrógeno. La fase estacionaria consiste de columnas empacadas en las cuales la parte sólida actúa como fase estacionaria. La separación de los compuestos en una muestra de gas se basa en las diferencias en la fuerza con la cual éstos interactúan con la fase estacionaria. Entre más fuerte sea la interacción mayor es el tiempo

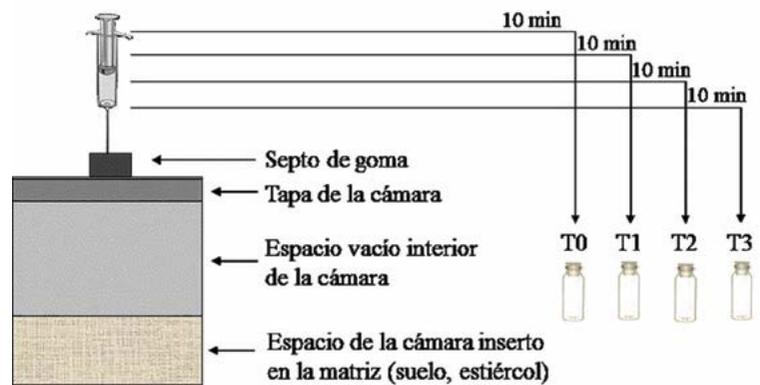


Figura 2. Colecta de muestras de aire mediante el método de cámaras estáticas cerradas. Muestras de aire del interior de las cámaras se extraen mediante jeringas y son inyectadas en viales sellados previamente evacuados o bien, desplazando el aire del interior del vial con la inyección de la muestra del interior de las cámaras. Las tapas de las cámaras están equipadas con un septo de goma por donde se introduce la jeringa para tomar la muestra. Una vez que las cámaras se cierran las muestras son colectadas a intervalos de 10 o 15 minutos durante 30 a 60 minutos. Las muestras son transportadas en viales de 10-14 ml hasta su análisis por CG.

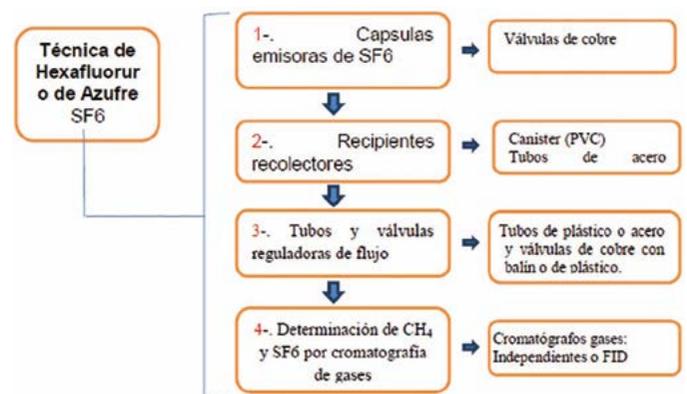


Figura 3. Fases en la realización de la técnica de hexafluoruro de azufre para coleccionar y cuantificar el metano en rumiantes.



Figura 4. Tubos colectores de metano, aplicando la técnica de hexafluoruro de azufre.

que el compuesto interactúa con la fase estacionaria y por lo tanto le toma mayor tiempo migrar a lo largo de la columna y el compuesto en cuestión tiene un mayor tiempo de retención. Aunque puede variar dependiendo de los equipos, los tiempos de retención son de 2 a 2.5, de 4.7 a 6.3 y de 5.5 a 6.2 para el CH₄, CO₂ y N₂O, respectivamente.

Detección de CO₂ y CH₄

La detección del CO₂ y CH₄ frecuentemente se realiza mediante un detector de ionización de flama (FID, por sus siglas en inglés). Es un detector muy sensible en a moléculas orgánicas pero es relativamente insensible en el caso de moléculas como N₂, NO_x, H₂S, CO, CO₂, H₂O. Sin embargo, en la mayoría de los estudios se realiza la cuantificación del CO₂ se utiliza un detector FID equipado con un metanizador. Si se introducen otros compuestos que contienen carbono se producirán cationes en el efluente. Entre más átomos de carbono tenga una molécula, mayor número de fragmentos se formarán y el detector será más sensible para ese compuesto. Infortunadamente no existe una relación directa entre el número de átomos de carbono y la magnitud de la señal. Por esta razón, factores de respuesta individual para cada compuesto tienen que ser determinados experimentalmente para cada instrumento. Para el funcionamiento de este detector se requieren gases como el hidrógeno, oxígeno (o aire comprimido) y un gas acarreador.

La concentración de CO₂ y CH₄ de una muestra de gas también puede cuantificarse con un detector de conductividad térmica (TCD). Este detector es menos sensible comparado con el FID y la detección se basa en la comparación de dos flujos de gas, uno que contiene únicamente el gas acarreador y el otro que contiene el gas acarreador además del compuesto de interés. Un gas acarreador con una alta conductividad térmica como el helio o el hidrógeno es utilizado para maximizar las diferencias en temperatura (y por lo tanto la diferencia en resistencia) entre dos filamentos delgados de tungsteno. La amplia relación superficie-masa permite un rápido equilibrio a un estado estable. Las diferencias de temperatura entre el filamento de referencia y el de la muestra son monitoreadas por un circuito puente de Wheatstone.

Determinación del N₂O

La concentración de N₂O en una muestra de gas se realiza con un cromatógrafo acoplado a un detector de

captura de electrones. Este detector posee dos electrodos y una fuente de radiación como ⁶³Ni e ³H. La colisión entre los electrones y el gas acarreador, que en este caso es CH₄ mezclado con un gas inerte como el argón produce un plasma que contiene electrones y cationes. Si en la muestra está presente un compuesto que contiene átomos electronegativos, éstos serán capturados para formar iones negativos y la tasa de captura de electrones disminuirá. Este detector es extremadamente sensible a compuestos con átomos con alta afinidad por los electrones.

Cálculo de la concentración de N₂O, CH₄ y CO₂

Las concentraciones de los gases se calculan con base en la concentración marginal de los picos de las áreas generadas con el CG obtenidas mediante curvas de calibración con diferentes concentraciones. La metodología de las cámaras se basa en la linealidad de las mediciones, es decir en la acumulación progresiva en el tiempo del gas de interés en el interior de la cámara. Si los datos de una cámara tienen una $r^2 < 0.8$ pueden ser excluidos (no hay linealidad). Si los datos tienen una $r^2 \geq 0.8$ pero algunas de las mediciones de una cámara son mucho más altos o bajos en comparación con las otras mediciones también pueden ser excluidos. Aunque no existe un consenso, estos criterios pueden tomarse como un indicador de fugas del gas en las cámaras o bien como contaminación (Luo y Zhou, 2006).

Las concentraciones de los gases analizados mediante CG son reportados frecuentemente en partes por millón. Para transformar la concentración a unidades de masa por volumen se utiliza la ley de los gases ideales y parámetros como el volumen de las cámaras, la temperatura interna de las cámaras y la presión atmosférica del sitio en el cual se realizó la colecta de las muestras. Con estos datos pueden calcularse los flujos mediante una regresión lineal de la concentración de los gases en el tiempo.

Para calcular los flujos de los gases es necesario estimar el volumen molar corregido (MV_{corr}) considerando la presión y temperatura del sitio donde se realizaron las mediciones (Ec. 2) (Kahmark y Millar, 2014).

$$MV_{corr} = 22.41 * \left(\frac{273.15 + T}{273.15} \right) * \frac{p_0}{p_1} \quad (\text{Ec. 2})$$

Dónde: MV_{corr} = Volumen Molar corregido; 22.41 = Vo-

lumen molar (L) de cualquier gas a temperatura y presión estándar; T = temperatura de la cámara (Celsius); p_0 = presión del aire al nivel del mar; p_1 = presión del aire en el sitio experimental.

Para calcular la tasa de emisión puede utilizarse la siguiente ecuación:

$$\text{Flujo} = \frac{\delta * M\omega * V * 10000 \text{ ha} * 60 \text{ min} * 24 \text{ horas} / \text{día}}{A * MV_{\text{corr}} * 1000 \text{ mg} * 1000 \mu\text{g}}$$

(Ec. 3)

Dónde: Flujo = emisiones $\text{g ha}^{-1} \text{d}^{-1}$; δ = pendiente del gas (ppm/min); $M\omega$ = peso molecular del gas ($\mu\text{g} \mu\text{mol}^{-1}$); V = volumen de la cámara (L); A = área de la cámara (m^2); MV_{corr} = Temperatura y presión corregida del Volumen Molar.

La cromatografía de gases y sus aplicaciones en el sector pecuario

Mediciones de CH_4 en rumiantes

A nivel global la cría de rumiantes es el uso de suelo que mayor superficie ocupa y es la mayor fuente de emisiones antropogénicas de CH_4 (Riple *et al.*, 2014). Los rumiantes incluyen herbívoros que consumen plantas y las digieren mediante fermentación entérica en un estómago con varias cámaras. El CH_4 es un subproducto del proceso de digestión microbiana en el rumen. La cantidad de CH_4 liberado depende del tipo de tracto digestivo, la edad, peso del animal, y de la calidad y cantidad del alimento consumido (IPCC, 2006).

Mediciones de CH_4 y N_2O en excretas

La mayor parte de las investigaciones se enfocan en las emisiones generadas por la fermentación entérica. Sin embargo, la generación de estiércol y orín que se acumula en las granjas son una consecuencia inevitable de la producción pecuaria que también es una fuente importante de emisiones de GEI. El orín, lodos y estiércol contienen nitrógeno inorgánico, carbono y agua disponible para los microorganismos los cuales son sustratos necesarios para la producción microbiana de CH_4 y N_2O (Chadwick *et al.*, 2011). De acuerdo con Jungbluth *et al.* (2001), del 0.05 al 0.7 % del nitrógeno excretado en el estiércol se emite como N_2O en el caso de las vacas, aunque las emisiones pueden ser hasta de 50-60 % en el caso de los cerdos que son criados con camas gruesas de paja (Groenestein y Guarino, 2009). Hay pocas

mediciones en el caso de las áreas de cobijo selladas cuando hay áreas de colecta de excretas y orina (Chadwick *et al.*, 2011).

Aunque el estiércol depositado en los establos también emite CH_4 no ha sido extensamente documentado ya que la mayoría de las emisiones se generan durante la fermentación entérica. Faltan investigaciones enfocadas en discriminar el CH_4 emitido del estiércol de aquel emitido por fermentación entérica. La cuantificación directa de las emisiones derivadas del estiércol son relevantes ya que podrían contribuir a esclarecer si las emisiones de CH_4 atribuidas únicamente a la fermentación entérica podrían ser sobreestimadas ya que se ha observado que estas emisiones pueden reducirse cuando el estiércol es removido de los establos (Sommer *et al.*, 2009).

Emisiones durante el almacenamiento y tratamiento de las excretas

Las emisiones de N_2O representan entre 1 y 4 % del nitrógeno total contenido en excretas de vacas y cerdos (Chadwick *et al.*, 2011), aunque se han reportado emisiones cercanas a 10 % en el caso del estiércol aviar (Thorman *et al.*, 2006). También se ha observado una tendencia al incremento en las emisiones de N_2O con el aumento en la densidad de las pilas de estiércol (Webb *et al.*, 2004). En el caso de los lodos residuales las emisiones de N_2O dependen de la temperatura, de la presencia o ausencia de cubierta y de su contenido de agua (Sommer *et al.*, 2000). Las emisiones de N_2O derivadas de la fracción sólida son similares al estiércol sin tratar y pueden llegar hasta 4 % dependiendo de la circulación del oxígeno (Hansen *et al.*, 2006).

El estiércol almacenado y las pilas del estiércol en proceso de compostaje también emiten CH_4 (Chadwick *et al.*, 2011) y puede liberarse hasta ~10 % de su contenido de carbono total (Chadwick *et al.*, 2005). El manejo adecuado de las excretas puede modificar estas emisiones al favorecer o prevenir las condiciones anaeróbicas. Por ejemplo la adición de paja reduce las emisiones de CH_4 hasta 45 % al promover la aireación en la pila de estiércol (Yamulki, 2006) o al reducir la temperatura en establos y almacenes (IPCC, 2007). No hay resultados conclusivos acerca de las emisiones de CH_4 generadas a partir de lodos residuales en comparación con su separación en fase sólida y líquida (Chadwick *et al.*, 2011).

Mediciones de N₂O en excretas añadidas al suelo como abonos

Los factores de emisión de N₂O se generan calculando la proporción del nitrógeno contenido en el estiércol que se emite en forma de este gas al ser aplicado al suelo como abono (Chadwick *et al.*, 2011). Se ha reportado que esta proporción varía entre 1 y 3 % aunque las emisiones tienden a ser más altas en el caso de las excretas porcinas (7-13 %; Velthof *et al.*, 2003). Las emisiones de N₂O son dependientes del tipo de estiércol y frecuentemente el aviar genera mayores flujos de N₂O (Chadwick *et al.*, 2011).

En el caso del CH₄ las emisiones ocurren de forma inmediata posterior a la aplicación del abono al suelo, aunque éstas son efímeras ya que la difusión de oxígeno inhibe la metanogénesis (Chadwick *et al.*, 2000).

Impacto de las mediciones

Las proyecciones indican que los efectos del cambio climático en México incluyen la reducción de 10 % en la precipitación y un incremento en la temperatura entre 1 y 1.5 °C en los próximos 25 años (IEA, 2014). Por ello el país se ha comprometido en la instrumentación de acciones de mitigación y adaptación (INECC, 2014). Las estrategias de mitigación pueden ser condicionadas o no condicionadas; las primeras se solventan con recursos propios de México, mientras que las segundas solo pueden realizarse si se obtienen recursos adicionales y transferencia de tecnología mediante cooperación internacional. La estrategia de mitigación no condicionada para el sector pecuario es la instalación y operación de biodigestores para aprovechar el biogás derivado de las excretas del ganado estabulado bovino y porcino, lo que implicaría la reducción anual de 2 % en las emisiones de GEI del 2015 al 2030. Estudios internacionales reportan que durante el manejo del estiércol hasta 60 % del nitrógeno puede emitirse en forma de N₂O y 10 % del C en forma de CH₄ por lo que el establecimiento de biodigestores tendría impacto no únicamente en la mitigación de CH₄ sino también de N₂O. Sin embargo, considerando que en México 64 % de las emisiones totales del sector agropecuario provienen de la fermentación entérica (INECC-SEMARNAT, 2015) el potencial de mitigación en esta área es significativo y actualmente no está considerado en las estrategias nacionales de mitigación. Las mediciones directas de emisiones de CH₄ podrían contribuir inicialmente a crear una línea base y posteriormente a diseñar estrategias de mitigación basadas en modifica-

ciones en la dieta de los rumiantes, en diferentes tipos de clima y con diferentes especies.

Áreas de oportunidad en México

Las acciones planteadas para mejorar el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero incluyen la caracterización de la composición de la dieta y de los sistemas del manejo del estiércol para ganado estabulado en sistemas de producción intensiva, tales como bovinos lecheros, porcinos y aves, y sistemas de ganadería extensiva de bovinos, ovinos y caprinos (INECC-SEMARNAT, 2015). Lograr una mejor caracterización requiere por un lado la organización de los estudios existentes y por otro la implementación de investigaciones enfocadas en explorar estrategias de mitigación como modificaciones en la dieta y suplementación con sustancias modificadoras del ambiente ruminal. Adicionalmente se requiere un esfuerzo de investigación importante en la medición directa de emisiones derivadas del manejo y uso del estiércol. Para lograr estas mejoras y la implementación de investigaciones se requiere de: 1) Formación y fortalecimiento de grupos de trabajo ya que en México existe el conocimiento y las capacidades pero falta coordinación para establecer vínculos entre cuerpos académicos e instituciones; 2) La formación de grupos de trabajo de investigación que coadyuve a la obtención de fondos para subsanar la carencia de infraestructura y mejorar el equipamiento de laboratorios y la adquisición de instrumentos especializados; 3) Construcción y fortalecimiento de sinergias entre cuerpos académicos y el gobierno, tomadores de decisiones y diseño de políticas públicas. Es esencial mejorar la comunicación para construir puentes entre las necesidades y la generación de conocimiento.

LITERATURA CITADA

- Amonc B., Misselbroock, T. 2011. Manure management: Implications for greenhouse gas emissions. *Animal Feed Science and Technology* 166-167: 514-531.
- Banxico. 2014. Estadísticas del Banco de México: Producción. CR145-Producto Interno Bruto (precios corrientes). Recuperado el 23 de septiembre de 2014 de: <http://www.banxico.org.mx/SielInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?accion=consultarCuadro&idCuadro=CR145§or=2&locale=es>
- Chadwick D. 2005. Emissions of ammonia, nitrous oxide and methane from cattle manure heaps: effect of compaction and covering. *Atmosphere and Environment* 39: 787-799.
- Chadwick D., Pain B.F., Brookman S.K.E. 2000. Nitrous oxide and methane emissions following application of animal manures to grassland. *Journal of Environmental Quality* 29: 277-287.
- Gerber P.J., Steinfeld H., Henderson B., Mottet A., Opio C., Dijkman J., Falcucci A., Tempio G. 2013. Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation

- opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rome, Italy.
- Hansen M.N., Henriksen K., Sommer S.G. 2006. Observations of production and emission of greenhouse gases and ammonia during storage of solids separated from pig slurry: effects of covering. *Atmosphere and Environment* 40: 4172-4181.
- Herrero M., Henderson B., Havlik P., Thornton P.K., Conant R.T., Smith P., Wiersenius S., Hristov A.N., Gerber P., Gill M., Butterbach-Bahl K., Valin H., Garnett T., Stehfest E. 2016. Greenhouse gas mitigation potentials in the livestock sector. *Nature Climate Change* 6: 452-461.
- IEA. 2014. Key world energy statistics 2014. Recuperado el 14 de octubre de 2014 de: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2014.pdf>
- INECC. 2014. Cuarto informe de la Consultoría del Control de Calidad de la Actualización del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2012 en la Categoría Uso del Suelo, Cambio del Uso del Suelo y Silvicultura. México.
- INECC. 2015. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. INECC/SEMARNAT. México.
- INEGI. 2014. Sistema de Cuentas Nacionales de México. Recuperado el 25 de agosto de 2014 de: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/scn/>
- IPCC. 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. 996 p.
- IPCC. 2006. Chapter 10: Emissions from Livestock and Manure Management. En Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- IPCC. 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Stocker, T.F., D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. 1535 p.
- Jungbluth T., Hartung E., Brose G. 2001. Greenhouse gas emissions from animal houses and manure stores. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 60: 133-145.
- Luo Y., Zhou X. 2006. Soil Respiration and the Environment. Academic Press. USA. 328 p.
- Kahmark K., Millar N. 2014. Stainless Steel Chamber Construction Method. W.K. Kellogg Biological Station, Michigan State University, Hickory Corners, Michigan.
- Montzka S.A., Dlugokencky E.J., Butler J.H. 2011. Non-CO₂ greenhouse gases and climate change. *Nature* 476: 43-50.
- Mosier A.R., 2001. Exchange of gaseous nitrogen compounds between agricultural systems and the atmosphere. *Plant and Soil* 228: 17-27.
- Ripple W.J., Smith P., Haberl H., Montzka S. A., McAlpine C., Boucher D.H. 2014. Ruminants, climate change and climate policy. *Nature Climate Change* 4: 2-5.
- Robertson G.P., Groffman P.M. 2007. Nitrogen transformation. In Paul E.A. (Ed.). *Soil Microbiology, Biochemistry, and Ecology*. Springer, New York, N. Y., USA. pp. 341-364.
- SAGARPA. 2013. Programa Sectorial de Desarrollo Agropecuario, Pesquero y Alimentario 2013-2018. SAGARPA. Ciudad de México.
- Sommer S.G., Olesen J.E., Petersen S.O., Weisbjerg M.R., Valli L., Rohde L., Béline F., 2009. Region-specific assessment of greenhouse gas mitigation with different manure management strategies in four agroecological zones. *Global Change Biology* 15: 2825-2837.
- Sommer S.G., Petersen S.O., Sogaard H.T. 2000. Greenhouse gas emission form stored livestock slurry. *Journal of Environmental Quality* 29: 744-751.
- Thorman R.E., Chadwick D.R., Boyles L.O., Matthews R., Sagoo E., Harrison R. 2006. Nitrous oxide emissions during storage of broiler litter and following application to arable land. *International Congress Series* 1293: 355-358.
- Thornton P.K. 2010. Livestock production: recent trends, future prospects. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 365: 2853-2867.
- Velthof G.L., Kuikman P.J., Oenema O. 2003. Nitrous oxide emission from animal manures applied to soil under controlled conditions. *Biology and Fertility of Soils* 37: 221-230.
- Webb J., Chadwick, D., Ellis S. 2004. Emissions of ammonia and nitrous oxide following incorporation into the soil of farmyard manures stored at different densities. *Nutrient Cycling Agroecosystems* 70: 67-76.
- Yamulki S. 2006. Effect of straw addition on nitrous oxide and methane emissions from stored farmyard manures. *Agriculture Ecosystem and Environment* 112: 140-145.



USOS DE *Moringa oleifera* Lam. (MORINGACEAE) EN LA ALIMENTACIÓN DE RUMIANTES

Moringa oleifera Lam.: AN ALTERNATIVE FODDER IN LIVESTOCK PRODUCTION IN MEXICO

Quintanilla-Medina, J.¹; Joaquín-Cancino, S.¹; Martínez-González, J.¹; Limas-Martínez, A.¹;
López-Aguirre, D.¹; Estrada-Drouaillet, B.¹; Hernández-Meléndez, J.^{1*}

¹Facultad de Ingeniería y Ciencias. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Centro Universitario Adolfo López Mateos, Ciudad Victoria, Tamaulipas. C. P. 87149.

*Autor de correspondencia: javhernan@docentes.uat.edu.mx

RESUMEN

En los sistemas de producción de ganado en el trópico de México, sobre todo en los sistemas extensivos, prevalece la utilización de pastos nativos como alimentación básica. Sin embargo en la época seca la calidad y cantidad de estos pastos disminuye drásticamente, lo que hace necesario el uso de suplementos, incrementando los costos de alimentación. La búsqueda de nuevas fuentes de alimentación para los rumiantes, que sean de buena calidad y resulten accesibles por su bajo costo, ha motivado la evaluación de recursos alimenticios alternativos eficientes y viables económicamente como son las especies arbóreas leguminosas y no leguminosas donde la *Moringa oleifera* sobresale. La suplementación con forraje de *M. oleifera* es una eficiente alternativa para mejorar la utilización de dietas basales de baja a mediana calidad, además que la viabilidad financiera de la utilización de moringa en la alimentación de rumiantes, refuerza la recomendación de utilizar el nivel más elevado por ser un recurso altamente disponible y además sumamente rentable, para pequeños productores.

Palabras clave: *Moringa oleifera*, alimentación, rumiantes.

ABSTRACT

In livestock production systems in the tropics of Mexico, especially extensive systems, the use of native pastures as a basic diet prevails. However, in the dry season the quality and quantity of the grasses decreases, making the use of supplements with high nutritional value necessary, increasing feeding costs. The search for new sources of food for ruminants, which are of good quality and are accessible because of their low cost, has motivated the evaluation of efficient and economically viable alternative food resources such as leguminous and non-leguminous tree species, among which *Moringa oleifera* stands out. Supplementation with *M. oleifera* fodder is an efficient alternative to improve the use of low to medium

quality basal diets, in addition to the financial viability of using moringa in ruminant feeding reinforcing the recommendation to use the highest level because it is a highly available resource and also extremely profitable for small-scale producers.

Keywords: Moringa oleifera, nutrition, ruminants.

INTRODUCCIÓN

El género *Moringa*, pertenece a la familia botánica Moringaceae, y agrupa 13 especies, de las cuales destacan por su importancia económica *Moringa oleifera* y *Moringa stenopetala* (Mahmood *et al.*, 2010). La primera de ellas (*M. oleifera*) es la especie más conocida del género, originario del sur del Himalaya, el noreste de la India, Bangladesh, Afganistán y Pakistán, y ha sido ampliamente introducida en una gran parte del planeta incluyendo a América Central. Se le conoce con diversos nombres comunes como palo jeringa, acacia y jazmín francés, entre otros (Pérez *et al.*, 2010). La moringa es de los árboles forrajeros que presenta un adecuado desarrollo en suelos ácidos hasta los alcalinos, la producción de forraje alcanza hasta 99 t ha⁻¹ año⁻¹ MS, las hojas frescas contienen entre 17 al 24.6 % de proteína cruda (PC), y 2.73 Mcal de energía metabolizable por kilogramo de materia seca (EM kg⁻¹ MS) (Duke, 1983). Además, esta especie es rica en vitaminas A, B y C, y minerales calcio, hierro y en dos aminoácidos esenciales (metionina y cistina), que generalmente son deficientes en otros alimentos naturales (Makkar y Becker, 1996). En los últimos años, en muchas regiones del trópico ha existido el interés por encontrar leguminosas arbóreas y otras especies para implementarlas en la alimentación animal, lo que ha surgido en gran medida por la necesidad de seleccionar especies como fuente de forraje de calidad para los períodos prolongados de sequía que, como se sabe, tienen efectos adversos en la producción animal en muchas zonas tropicales (Narváez y Lascano, 2004). En la actividad ganadera, sobre todo en los sistemas extensivos, prevalece la utilización de pastos nativos como dieta básica. Sin embargo, durante el periodo de sequía, la calidad de éstos disminuye, lo que hace necesario el uso de suplementos alimenticios con elevado valor nutritivo, que incrementan los costos de alimentación (Rodríguez, 2011). La utilización de concentrados como suplementos alimenticios convencionales es prácticamente inalcanzable para los pequeños y medianos pro-

ductores. Por ello, las especies arbustivas son cada vez más comunes como suplemento en los sistemas de alimentación de los rumiantes en el trópico y subtropico seco (Melesse, 2012). La búsqueda de nuevas fuentes de alimentación para el ganado, que no implique competencia en lo fundamental con el humano, que sean de calidad y resulten accesibles por su bajo costo, ha motivado a la evaluación de recursos alimenticios alternativos eficientes y viables económicamente (Galindo *et al.*, 2005). La moringa se encuentra dentro de las especies arbóreas más consumidas por el ganado bovino, ovino y caprino al igual que *Chlorophora tinctoria*, *Morus alba*, *Pithecellobium pedicellare*, *Gliricidia sepium*, *Guazuma ulmifolia*, *Cordia alba*, *Trichantera gigantea*, *Tithonia diversifolia*, *Leucaena leucocephala*, *Azadirachta indica* y *Samanea samany* (García *et al.*, 2008). De acuerdo con Reyes *et al.* (2012), la suplementación alimenticia con forraje de moringa es una alternativa viable para incrementar la utilización de dietas base de baja a mediana calidad, además de que la viabilidad financiera de la utilización de moringa en la alimentación de rumiantes, refuerza la recomendación de utilizar el nivel más elevado por ser un recurso altamente disponible y además sumamente rentable para los pequeños productores principalmente. Por lo anterior el objetivo de este trabajo fue recopilar la información necesaria para conocer el efecto que tiene la inclusión de *Moringa oleifera* en las dietas utilizadas en la alimentación de los rumiantes en condiciones de trópico seco.

Importancia de las especies arbóreas en la alimentación animal

Las hojas y ramas de los árboles forman parte natural de las dietas de numerosos rumiantes y han sido utilizadas como una fuente convencional de forrajes para la ganadería en Latinoamérica. La parte de los árboles forrajeros utilizada comúnmente como alimento está referido en las hojas, los tallos, y las ramas jóvenes; además pueden utilizarse los frutos y las vainas, debido a que mantienen niveles elevados de proteína y minerales durante el crecimiento, superiores a las gramíneas, las cuales declinan rápido la calidad a medida que se acercan a la madurez fisiológica (Clavero, 2011). Los árboles forrajeros tienen proteína de calidad, alta digestibilidad, proporcionan nutrientes que se encuentran deficientes en las dietas y mejoran el crecimiento de la población de microbios del rumen, además son una fuente importante de proteína de sobrepaso debido al bajo contenido de taninos, y buenos niveles de minerales. Debido a ello, estos árboles pueden ser utilizados como un reemplazo parcial

de concentrados comerciales reduciendo los costos de alimentación.

Compuestos secundarios en las plantas arbóreas

Los árboles y arbustos constituyen una fuente importante de alimento, con un valor nutricional potencial; sin embargo, contienen compuestos secundarios que pueden modificar la utilización digestiva de éstos, especialmente taninos que pueden tener un impacto limitado en el aumento de la productividad de los animales (Galindo *et al.*, 2005). Los taninos juegan un papel importante en la nutrición de los animales, causando efectos adversos o benéficos sobre la utilización de nutrientes, la salud y la producción. La concentración ideal de leguminosas forrajeras oscila generalmente entre 20-40 g kg⁻¹ de MS, nivel al cual pueden unirse con las proteínas dietéticas durante la masticación y proteger la proteína del ataque microbiano en el rumen (Nguyen *et al.*, 2005). Las plantas forrajeras tropicales se caracterizan por presentar buenas concentraciones de taninos con actividad biológica, exhiben considerables contenidos de saponinas, presentan mayor factibilidad nutricional; ya que contienen bajas concentraciones de metabolitos secundarios con potencialidades tóxicas y muestran mayor valor nutritivo en términos de su degradabilidad y digestibilidad posruminal, por lo tanto todas estas especies constituyen buenas alternativas para la alimentación de los rumiantes (García *et al.* 2006).

Origen y distribución de la *Moringa oleifera*

El género *Moringa* pertenece a la familia Moringaceae, y agrupa a las siguientes especies *Moringa oleifera*, *M. arborea*, *M. borziana*, *M. concanensis*, *M. drouhardii*, *M. hildebrandtii*, *M. longituba*, *M. ovalifolia*, *M. peregrina*, *M. pygmaea*, *M. rivaie*, *M. ruspoliana*, y *M. stenopetala* (Mahmood *et al.*, 2010). *Moringa oleifera* es la especie más conocida del género, es un árbol originario del sur del Himalaya, el nordeste de la India, Bangladesh, Afganistán y Pakistán. Se encuentra diseminada en una gran parte del planeta. En Centroamérica se le conoce con diversos nombres comunes: palo jeringa, acacia y jazmín francés, entre otros (Pérez *et al.*, 2010).

Características y composición química de la moringa

La moringa es de los árboles forrajeros que presenta un adecuado desarrollo en suelos ácidos hasta alcalinos, su producción de forraje varía entre 24 y 99 t ha⁻¹ año⁻¹ MS, las hojas frescas contienen entre 17 y 24.6 % de proteína bruta (PB), 2.73 Mcal de energía metaboliza-

ble por kilogramo de materia seca (EM kg⁻¹ MS) (Duke, 1983). Es una especie forrajera rica en vitaminas A, B y C, en calcio, en hierro y en dos aminoácidos esenciales como metionina y cistina (generalmente deficientes en otros alimentos) (Makkar y Becker, 1996). En estudios realizados en hojas de moringa colectado a diferentes días de rebrote (45, 60 y 75), Jarquín *et al.* (2013) reportan niveles para materia seca (MS) de 170.2, 157.1 y 151 g kg⁻¹, proteína cruda (PC), de 228.9, 226.3 y 222.5 g kg⁻¹, fibra detergente neutra (FDN) de 289,307.5 y 321.2 g kg⁻¹, fibra detergente ácida (FDA) de 203.1, 225.1 y 227.6 g kg⁻¹, cenizas de 94.1, 92.4 y 82.7 g kg⁻¹, respectivamente. Es importante resaltar que el porcentaje de PC no es afectado por las diferentes edades de rebrote, a diferencia de la FDN, FDA y cenizas. De acuerdo con Debela *et al.* (2013), las hojas de moringa pueden contener niveles de PC, cenizas, FDN, FDA, lignina detergente ácida (LDA) de 361.2, 132.2, 154.0, 120.6, 26.4 g kg⁻¹ de MS, respectivamente. En forraje completo, (hojas, ramas y vainas) reportaron niveles de 194.0 g kg⁻¹, 121.9, 293.3, 191.5, 174.7, 33.3 g kg⁻¹ de MS, cenizas, PC, FDN, FDA, LDA, respectivamente. Por su parte, Rodríguez *et al.* (2014) refieren que *M. oleifera* contiene más del 90 % de materia seca (MS) y materia orgánica (MO), además ponen de manifiesto niveles de proteína cruda (PC) mayores al 22 % y un contenido de fibra detergente neutra (FDN) de 40.5 %.

La moringa en la alimentación animal

La moringa es una buena alternativa para sustituir las raciones comerciales debido a la relativa facilidad con que se puede propagar, la baja demanda de nutrientes del suelo y de agua después de su plantación, características que hacen que su producción y manejo sean relativamente fáciles y particularmente prometedores, especialmente en los países en desarrollo ya que no agota los recursos existentes ni modifica los patrones de uso de la tierra. Aunado a esto, su alta calidad nutricional y su alta producción de biomasa, especialmente en épocas secas, apoyan su importancia como forraje para el ganado (Nouman *et al.*, 2014). La moringa tiene la capacidad de ofrecer alimentos nutritivos para personas y animales, así como aceite comestible de alta calidad y una gama de otras aplicaciones (Olson y Fahey, 2011). Esto le convierte en un recurso sumamente importante para el establecimiento de comunidades sostenibles en el trópico seco, tanto en las áreas rurales como en las ciudades y que dadas sus características. La moringa puede utilizarse para que las comunidades en México y otras partes de América Latina, no sólo mejoren su ali-



mentación, sino que gestionen su sostenibilidad de una manera más eficiente.

Alimentación de ovinos

La ovinocultura representa una actividad importante en la economía del país, ya que además de proveer productos de consumo directo para la población humana, genera una importante fuente de ingresos económicos para el productor (Luna *et al.*, 2011). El forraje de *M. oleifera* como suplemento protéico para ovinos consumiendo una dieta basal de *Panicum maximum* incrementa la ganancia de peso y mejora el consumo total de materia seca y la conversión alimenticia (Reyes *et al.*, 2012). De acuerdo con Murro *et al.* (2003), el reemplazo de la torta de semilla de algodón con harina de hoja de *M. oleifera* (20 % de la dieta) en una dieta para ovejas a base de salvado de maíz, mejoró el 20 % de la tasa de crecimiento, aunque la conversión alimenticia fue más deficiente. Las dietas suplementadas con hojas secas de *M. oleifera* a razón de 15 g kg⁻¹ MS tienen un efecto positivo sobre la digestibilidad de nutrientes, la producción de leche, la composición de la leche y un incremento en el perfil de ácidos grasos (14 %) de las ovejas Rhamani lactantes sin efectos nocivos sobre su salud (Azzaz *et al.*, 2016). Cuando se suplementa con hoja de moringa y heno de pasto de Rhodes mejora la ingesta, digestibilidad de PC, retención de nitrógeno y aumento de peso, por lo tanto, la suplementación con moringa es una opción viable para mejorar la producción y la productividad del ganado bajo condiciones de pequeños agricultores, donde las fuentes convencionales de proteínas como suplemento están fuera del alcance (Gebregiorgis *et al.*, 2012).

Alimentación de cabras

En un estudio realizado con ovejas y cabras, Babiker *et al.* (2017) encontraron que la sustitución parcial del heno de alfalfa por *M. oleifera* en la dieta de ovejas y cabras influyó positivamente en el rendimiento y composición de la leche, que el estado oxidativo de la leche y del suero de ambos animales mejoró después de reemplazar sus dietas, por lo tanto *M. oleifera* como suplemento en dietas de rumiantes puede ser una alternativa prometedora de mejorar el rendimiento del crecimiento, el rendimiento y la composición de la leche, así como minimizar el daño oxidativo de la leche y el suero de ovejas y cabras. Por otra parte, Kholif *et al.* (2015) reemplazando la harina de sésamo en una dieta para cabras lactantes, aseveran que la inclusión del 15 % de harina de hoja de moringa en la dieta, aumenta la ingesta de alimento, la digestibilidad de los nutrientes, la fermentación ruminal y el rendimiento de la leche; además, la moringa modifica positivamente el perfil de ácidos grasos, incrementando su porcentaje de ácidos grasos insaturados mientras que los saturados disminuyen. El ensilado de moringa, seguido de la moringa en fresco, y finalmente heno de moringa, reemplazando tres cuartas partes de la harina de sésamo como fuente de proteínas en dietas para cabras lactantes, se logra un aumento de la ingesta de alimento, la digestibilidad de los nutrientes y la fermentación ruminal, así como incrementos en el rendimiento y la composición de la leche (Kholif *et al.*, 2016). La inclusión de la harina de hoja de *M. oleifera* a razón del 15 % del total de la dieta, aumentó el volumen celular medio, el volumen de células empaquetadas, así como el número glóbulos blancos y por ende, sobre el estado de salud de las cabras (Jiwuba *et al.*, 2017).

Alimentación de bovinos

Cohen-Zinder *et al.* (2016), mencionan que ensilar a *Moringa oleifera* con cáscaras de soja o granos de maíz como aditivos sólidos digestibles para la alimentación de vacas lecheras lactantes, incrementa el contenido de grasa en la leche (2.43 %) y un 20 % más de actividad antioxidante. Por otro lado Sun *et al.* (2017) mencionan que la inclusión de la harina de *M. oleifera* disminuye la digestibilidad aparente de la materia seca, mas no así en el rendimiento y composición de la leche. Así mismo, muestran los cambios inducidos por la moringa, de bacterias metabólicamente activas en las heces de vacas lecheras y que las variaciones de la diversidad bacteriana de cada individuo se vieron afectadas por componentes bacterianos menos abundantes en las heces, concluyendo que el forraje de esta se puede utilizar como fuente de proteínas en las dietas de las vacas lactantes.

CONCLUSIONES

En condiciones de escasa precipitación o periodos prolongados de sequía, los forrajes son escasos y de baja calidad, por lo que la utilización de forraje de *Moringa oleifera* como complemento en la dietas convencionales utilizadas en la alimentación de los rumiantes ofrecen una alternativa alimenticia. Sin importar su forma de inclusión (fresco o procesado), la moringa tiene el potencial de mejorar indicadores productivos como ganancias de peso, conversión alimenticia, producción y calidad de la leche. Sin embargo, se requieren investigaciones más precisas para determinar dosis óptimas y procesamientos más adecuados que aseguren una mejor producción ganadera.

LITERATURA CITADA

- Azzaz H.H., Eman S.A., Morsy T.A., Aziz H. A., Fatma I.H., Abd-Alla M. S. 2016. *Moringa oleifera* and *Echinacea purpurea* as supplements for Rhamani lactating ewe's diets and their effect on rumen characteristics, nutrients digestibility, blood parameters, milk production, composition and its fatty acid profile. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances* 11: 684-692.
- Babiker E.E., Juhaimi F.A., Ghafoor K., Abdoun K.A. 2017. Comparative study on feeding value of moringa leaves as a partial replacement for alfalfa hay in ewes and goats. *Livestock Science* 195: 21-26.
- Clavero T. 2011. Agroforestería en la alimentación de rumiantes en América Tropical. *Revista de la Universidad del Zulia* 2:11-35.
- Cohen-Zinder M., Leibovich H., Vaknin Y., Sagi G., Shabtay A., Ben-Meir Y., Miron J. 2016. Effect of feeding lactating cows with ensiled mixture of *Moringa oleifera*, wheat hay and molasses, on digestibility and efficiency of milk production. *Animal Feed Science and Technology* 211: 75-83.
- Debela E., Tolera A. 2013. Nutritive value of botanical fractions of *Moringa oleifera* and *Moringa stenopetala* grown in the mid-rift valley of southern Ethiopia. *Agroforest System*. 87:1147-1155
- Duke J.A. 1983. Handbook of energy crops (*Moringa oleifera*). Center for new crops and plant products. Purdue University, Indiana, US. http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Moringa_oleifera.html.
- Galindo J., Delgado D., Pedraza R., García D. 2005. Impacto de los árboles, los arbustos y otras leguminosas en la ecología ruminal de animales que consumen dietas fibrosas. *Pastos y Forrajes* 28: 59-68.
- García D.E., Medina M.G., Humbría J., Domínguez C., Baldizán A., Cova L., Soca M. 2006. Composición proximal, niveles de metabolitos secundarios y valor nutritivo del follaje de algunos árboles forrajeros tropicales. *Archivos de Zootecnia* 55: 373-384.
- Gebregiorgis F., Negesse T., Nurfeta A. 2012. Feed intake and utilization in sheep fed graded levels of dried moringa (*Moringa stenopetala*) leaf as a supplement to Rhodes grass hay. *Tropical Animal Health and Production* 44: 511-517.
- Jarquín A.J.A., Rocha D., Rocha L., Reyes-Sánchez N., Mendieta-Araica. 2013. Degradabilidad ruminal del follaje de *Moringa oleifera* a tres diferentes edades de rebrote. *La Calera* 13: 76-81
- Jiwuba P.C., Ahamefule F.O., Ogbuewu I.P., Ikunze K. 2017. Blood chemistry and haematology of West African Dwarf goats fed *Moringa oleifera* leaf meal (MOLM) in their diet. *Comparative Clinical Pathology* 26: 621-624.
- Kholif A.E., Gouda G.A., Morsy T.A., Salem A.Z.M., Lopez S., Kholif A.M. 2015. *Moringa oleifera* leaf meal as a protein source in lactating goat's diets: feed intake, digestibility, ruminal fermentation, milk yield and composition, and its fatty acids profile. *Small Ruminant Research* 129: 129-137.
- Kholif A.E., Morsy T.A., Gouda G.A., Anele U.Y., Galyean M.L. 2016. Effect of feeding diets with processed *Moringa oleifera* meal as protein source in lactating Anglo-Nubian goats. *Animal Feed Science and Technology* 217: 45-55.
- Luna E.D., Ángel, M.C., Moreno, S.A., Rincón R.S., Velasco H.L. 2011. Parámetros productivos de ovinos de pelo en un sistema de alimentación intensiva en la región central de Chiapas. *Quehacer Científico en Chiapas* 1: 7-13.
- Mahmood K.T., Mugal T., Haq I.U. 2010. *Moringa oleifera*: a natural gift - A review. *Journal of Pharmaceutical Science and Research*. 2: 775-781
- Makkar H., Becker K. 1996. Nutritional value and antinutritional components of whole and ethanol extracted *Moringa oleifera* leaves. *Animal Feed Science and Technology*. 63: 211-228.
- Murro J.K., Muhikambe V.R.M., Sarwatt S.V. 2003. *Moringa oleifera* leaf meal can replace cottonseed cake in the concentrate mix fed with Rhodes grass (*Chloris gayana*) hay for growing sheep. *Livestock Research for Rural Development* 15: 1-4.
- Narváez N, Lascano C.E. 2004. Caracterización química de especies arbóreas tropicales con potencial forrajero en Colombia. *Pasturas Tropicales* 26: 1-8.
- Nguyen T.M., Binh D.V., Orskov E.R. 2005. Effects of foliages containing condensed tannins and on gastrointestinal parasites. *Animal Feed Science and Technology*. 121: 77-78.
- Nouman W., Basra S. M.A., Siddiqui M.T., Yasmeen A., Gull T., Alcaide M.A.C. 2014. Potential of *Moringa oleifera* L. as livestock fodder crop: A review. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 38: 1-14.
- Olson M.E., Fahey J.W. 2011. *Moringa oleifera*: un árbol multiusos para las zonas tropicales secas. *Revista mexicana de biodiversidad* 82: 1071-1082.
- Pérez A., Sánchez T., Armengol N., Reyes F. 2010. Características y potencialidades de *Moringa oleifera* Lamark: Una alternativa para la alimentación animal. *Pastos y Forrajes* 33: 1-1.
- Rodríguez R., González, Alonso J., Domínguez M., Sarday L. 2014. Valor nutritivo de harinas de follaje de cuatro especies arbóreas tropicales para rumiantes. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 48: 371-378
- Sun J., Zeng B., Chen Z., Yan S., Huang W., Sun B., Xi Q. 2017. Characterization of faecal microbial communities of dairy cows fed diets containing ensiled *Moringa oleifera* fodder. *Scientific Reports* 7: 41403.



MALANGA (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) Y CHAYOTE (*Sechium edule* (Jacq.) Sw.) POR MANGO 'MANILA' (*Mangifera indica* L.): CAMBIOS EN EL SISTEMA AGRÍCOLA DE LA CUENCA CENTRAL DEL RÍO ACTOPAN, VERACRUZ

MALANGA (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) AND CHAYOTE (*Sechium edule* (Jacq.) Sw.) BY 'MANILA' MANGO (*Mangifera indica* L.): CHANGES IN THE AGRICULTURAL SYSTEM OF THE CENTRAL BASIN OF THE ACTOPAN RIVER, VERACRUZ

Arce-Castro, B.A.^{1*}, Birke-Biewendt, A.B.²

¹Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Administrativas y Sociales. Paseo #112, Lote 2, Sección 2, Nuevo Xalapa, Xalapa, Veracruz. C. P. 91097. ²Instituto de Ecología, A.C. Clúster Científico y Tecnológico BIOMIMIC®. Carretera Antigua a Coatepec No. 351, Col. El Haya, Xalapa, Veracruz. C.P. 91070.

*Autor responsable: alisson2113@gmail.com

RESUMEN

El mango 'Manila' (*Mangifera indica* L.) ha sido un producto de enorme valor comercial para los habitantes de la cuenca central del río Actopan, Veracruz. A nivel nacional, esta región sigue proveyendo al mercado nacional el 85 % de la producción de mango 'Manila'. A pesar de ello, la producción y los rendimientos por hectárea a nivel estatal y regional han decrecido en los últimos 20 años en un 54 %. El presente estudio identifica las causas que han provocado la reducción en superficie y producción del mango 'Manila', uno de los cultivos más emblemáticos del estado de Veracruz. La metodología se sustenta en investigación de fuentes impresas y estadística obtenida a través de encuestas aplicadas a los productores. Los resultados indican que las causas principales del cambio de uso de suelo de más de 15,220 ha en el estado y una baja del 60 % en los rendimientos por hectárea de mango 'Manila' en la región citada obedece a que las plantaciones por su edad (>40 años) tienen bajos rendimientos, el precio es poco atractivo (\$ 10.33 por kg), hay graves problemas de enfermedades y plagas (antracnosis y moscas de la fruta), y falta de apoyo gubernamental han motivado la sustitución por cultivos más rentables. Chayotes (*Sechium edule*) (29 %), malanga (*Colocasia esculenta*) (21 %), otros cultivares de mango (*M. indica*) (25 %), limón (*Citrus latifolia* Tanaka Ex Q. Jiménez) (8 %), guanábana (*Annona muricata* L.) (9 %), maracuyá (*Passiflora edulis* Sims) (8 %) entre otros, son los cultivos sustitutos de las áreas anteriormente densamente arboladas con mango. Aunque el cambio en el sistema agrícola ha beneficiado económicamente a los productores, la modificación al sistema repercute en el agroecosistema en general, toda vez que los cultivos nuevos son en su mayoría altamente demandantes en agroquímicos.

Palabras clave: Sistema Agrícola, mango 'Manila', *Mangifera indica*, chayote, *Sechium edule*, malanga, *Colocasia esculenta*.

Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 2, febrero. 2018. pp: 94-99.

Recibido: agosto, 2017. **Aceptado:** diciembre, 2017.



ABSTRACT

The 'Manila' mango (*M. indica*) has been a product of enormous commercial value for the inhabitants of the Central basin of the Actopan River, Veracruz. At the national level, this region continues to provide the domestic market with 85 % of 'Manila' mango production. Despite this, production and yields per hectare at the state and regional level have declined in the last 20 years by 54 %. The present study identifies the causes that have produced the reduction in surface and production of mango 'Manila', one of the most emblematic crops of the state of Veracruz. The methodology is based on research of printed sources and statistics obtained through surveys applied to producers. The results show that the main causes of land use change of more than 15,220 ha in the state and a 60 % decrease in yields per hectare of 'Manila' mango in the region (>40 years) have low yields, the unattractive price (\$ 10.33 per kg), serious disease and pest problems (anthracnose and fruit flies), lack of government support, motivated the substitution with more profitable crops. Chayotes (*Sechium edule*) (29 %), malanga (*C. esculenta*) (21 %), other mango cultivars (25 %), lemon (*Citrus x latifolia* Tanaka Ex Q. Jiménez) (8 %), guanabana (*Annona muricata* L.) (9 %), passion fruit (*Passiflora edulis* Sims) (8 %), among others, are the substitute crops of previously densely wooded areas with mango trees. Although the change in the agricultural system has economically benefited producers, the modification of the system has an impact on the agroecosystem in general, since the new crops are highly demanding in agrochemicals.

Key words: Agricultural System, Manila mango, *Mangifera indica*, chayote, *Sechium edule*, malanga, *Colocasia esculenta*.

bajo, aunque se espera que el mercado crezca rápidamente en los próximos años. En Estados Unidos, el consumo del mango ha aumentado de 0.5 kg per cápita de 1996 a 1.3 kg en 2008. Este crecimiento ha sido impulsado por muchos factores, destacan la disponibilidad todo el año, los precios bajos, las preferencias de los consumidores y un mayor ingreso (CONASPRO-MANGO, 2012). Por la extensión en superficie sembrada y la generación de recursos, el mango representa el sexto fruto más importante en México. Los estados con mayor producción son Sinaloa (16 %), Chiapas (16 %), Michoacán (13 %), Nayarit (13 %), Veracruz (10 %) y Guerrero (8 %) (SIAP, 2015) y la tasa media de crecimiento anual (TMCA) se estima en 1 % a nivel nacional. México produce numerosas variedades de mango, y tradicionalmente ha comercializado y exportado: 'Tommy Atkins' (49 %), 'Haden' (23 %), 'Kent' (24 %), y 'Keitt' (Reho, 2016). En los últimos años ha cobrado auge la exportación de 'Ataulfo' (5 %) variedad producida sólo en México. Los principales estados productores de mango 'Manila' son el estado de Veracruz y Guerrero, este último a partir de 2017, ingresa como exportador de mango 'Manila', enviando 12.5 t a los Estados Unidos (Andrade, 2017). Lamentablemente, el mango 'Manila' del estado de Veracruz no ha permeado el mercado de exportación; y de acuerdo a fuentes oficiales, se registra un decremento en la superficie sembrada de 1995 a la fecha, que indica una reducción drástica del 54 % en la superficie durante los últimos 20 años (SIAP, 2015).

Basado en estos registros, este trabajo de investigación contempló identificar mediante encuestas e investigación de fuentes impresas

INTRODUCCIÓN

El sector agroalimentario de México está sujeto a muchas condiciones para cumplir con su principal función: generar alimentos, materias primas y crear oportunidades de empleo a un porcentaje importante de la población que se dedica a las labores del campo. También debe enfrentar con la apertura comercial, y por ende a la competencia de productos provenientes de todas partes del mundo. Por otro lado, hoy día, México se posiciona como una puerta de acceso a un mercado potencial de más de mil millones de consumidores (PROMEXICO, 2017).

La exportación del mango está regulada por Normas Oficiales Mexicanas Fitosanitarias NOM-023-FITO-1995 (Diario Oficial de la Federación, 1999) y NMX-FF-058-SCFI-2006 (Diario Oficial de la Federación, 2012). El mango es reconocido en la actualidad como el quinto frutal del trópico de mayor demanda en el mundo (FAO, 2013), y su posicionamiento ha dependido en gran parte al origen o a la etnia a la que pertenecen los consumidores, pues estos comúnmente son originarios de países donde el consumo de mango es alto. El consumo promedio de mango en el mundo es de 3.4 kg por persona al año, y el nivel más alto lo tiene Asia, seguido por América Latina, África y Australia. Estados Unidos y Europa tienen el consumo más

oficiales, páginas especializadas, notas periodísticas las posibles causas del decremento en la superficie; y en particular la baja en los rendimientos del cultivo de mango ‘Manila’ en la cuenca central del río Actopan, Veracruz, una de las mayores áreas productoras de mango en la zona. Además, se discute el valor que áreas arboladas de esta variedad ofrecen al ecoturismo, proveyendo de una fuente económica secundaria, un servicio ambiental por la conservación principalmente del agua, biodiversidad, suelo y fijación de carbono.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se dividió en dos etapas. **La primera** aborda el análisis de la situación que enfrenta la produc-

(CESVVER), y Comité Nacional del Sistema Producto Mango (CONASPROMANGO), así como entrevistas directas a presidentes municipales, introductores y compradores de mango, gerentes de la cadena de tiendas departamentales Wal-Mart, y productores de mango de la región de Actopan.

Diseño de obtención de información directa Etapa I:

Se formularon entrevistas dirigidas a los propietarios de plantaciones de mango del municipio de Actopan, el instrumento se dividió en dos apartados, el primero enfocado a la caracterización de las huertas y sus propietarios, el segundo enfocado al mercado. Dada la inmensa cantidad de productores de mango, y el anonimato que caracteriza un mercado de competencia perfecta, fue necesario adoptar los siguientes criterios para acotar el muestreo y validar la representatividad de la información obtenida: muestreo no probabilístico de cuotas, y selección del área con mayor número de productores (Cuadro 1).

Cuadro 1. Productores afiliados al Consejo Estatal de mango ‘Manila’ (*Mangifera indica*), en Actopan, Veracruz.

Localidad	Productores	Superficie total (ha)	Superficie promedio por productor (ha)	Número de encuestas aplicadas
Actopan	506	4,055	8.0	45
Puente Nacional	190	1,240	6.5	4
Coatepec	8	40	5.0	4
Jalcomulco	250	1,150	4.6	26
	1,248			79

Fuente: Directa basada en estimaciones del Consejo Estatal de Mango en Actopan, Veracruz.

ción del mango ‘Manila’ en la cuenca del río Actopan en el estado de Veracruz, a partir de fuentes primarias (encuestas) y secundarias, para determinar su estado situacional en la entidad. **La segunda etapa**, se basa en el resultado de la primera y considera un análisis longitudinal a partir de series de tiempo de 20 años, donde queda reflejado el evidente cambio en el uso del suelo y la tala de amplias extensiones de mango. La información se complementa con el análisis de encuestas dirigidas a productores de mango afiliados al Consejo Estatal de Mango, Veracruz.

Etapa I. Investigación de fuentes secundarias (impresas oficiales, páginas oficiales) y entrevista a productores y empresarios clave del sector

Las fuentes impresas oficiales consultadas que sustentan esta investigación fueron: las generadas por Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM), Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Veracruz

ETAPA II. Cambio de sistema agrícola de mango ‘Manila’ (*Mangifera indica*) a otros cultivos: causas y efectos

Como resultado de la primera etapa, se evidenció no únicamente el decremento en la superficie de áreas dedicadas al cultivo del mango ‘Manila’ en Veracruz, sino también una marcada reducción de la producción y en el rendimiento, lo cual está ampliamente documentado por fuentes especializadas. A fin de determinar las causas y realizar un diagnóstico situacional se procedió a realizar entrevistas a productores bajo los siguientes criterios: que por lo menos haya sido propietario por más de 10 años de la huerta de mango, y que haya realizado algún cambio en el uso de la tierra o mejoras introduciendo otra variedades u otros cultivos. La primera parte del instrumento fue idéntico al anterior, ampliándose la encuesta en la segunda parte a la determinación de las causas que han promovido el cambio de uso del suelo. Se aplicaron 32 encuestas en las localidades Paso de la Milpa, La Bandera, Hornitos, y Santa Rosa, todos pertenecientes al municipio de Actopan, Veracruz.

El tipo de muestreo aplicado fue el no probabilístico, el cual si bien no sirve para hacer generalizaciones, es útil

para estudios exploratorios. La muestra fue discrecional, y los elementos se seleccionan por facilidad conveniencia y no por reglas fijas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Etapa I. El mango 'Manila' (*Mangifera indica*) en el estado de Veracruz

La variedad 'Manila' se caracteriza por presentar frutos elípticos, amarillentos con un peso promedio de 160-300 g; posee alto contenido de azúcares, que le confieren una alta palatabilidad, muy solicitados por el consumidor. Sin embargo, por ser de cáscara delgada, es muy susceptible a enfermedades, plagas, y altamente perecedero, por lo que su colocación en el mercado es complicada (Bocanegra, 2013). Veracruz cuenta con aproximadamente 18,091 ha, que producen actualmente 116,905.85 t, con rendimiento promedio de 4.49 t ha⁻¹ (SIAP, 2015).

La producción de mango del estado de Veracruz se destina principalmente al mercado nacional y no es exportable debido a tres razones: 1) las restricciones impuestas por los países importadores con respecto a la incidencia de moscas de la fruta en las distintas entidades del país; 2) por la falta de alternativas para extender la vida de anaquel; y 3) a la dispersión de las zonas de producción (Arias y Toledo, 2000). Estos factores, entre otros, han provocado la tala de extensiones importantes de mango 'Manila' y su sustitución por otros cultivos.

En México, el municipio que en 2015 aún conservaba la mayor superficie destinada al mango 'Manila' (4,038 ha) es Actopan, Veracruz, con un rendimiento de 4.49 t ha⁻¹ y una producción de 18,126 t; le siguen en menor superficie Emiliano Zapata, Jalcomulco y Paso de Ovejas, todos pertenecientes al estado de Veracruz (SIAP, 2015). La información obtenida señala que, si bien el estado de Veracruz fue por décadas el productor principal de mango 'Manila' a nivel nacional, la superficie, producción y el rendimientos se redujeron drásticamente en los últimos veinte años (Figura 1).

El mango 'Manila' en Veracruz aún contribuye con el 85 % de la producción a nivel nacional, situación que puede cambiar en la próxima década por la incursión del estado de Guerrero al mercado (SIAP, 2015).

La superficie sembrada con esta variedad ha disminuido en la entidad veracruzana en un 54 %, considerando que de las 33,645 ha sembradas en 1995, hoy solo permanecen 18,425 ha. Por otra parte, la producción de mango ha sido fluctuante durante los últimos años, con tendencia a la baja. En términos generales se registra una disminución neta de 28.4 % entre la producción de 1995 con respecto a la obtenida en el 2015, implica una variación negativa del 3.2 % promedio anual. De una producción cercana a las 267,500 t registradas en los récords de 1995, la producción se redujo en 191,500 t para 2015. Así mismo el rendimiento ha disminuido de 8.11 t ha⁻¹ a 4 t ha⁻¹, lo que se aprecia al comparar la producción de 267,500 t de mango en 1995 contra 118,545 t en 2017. En Actopan, los rendimientos han decrecido abruptamente en los últimos seis años, se registra un decremento medio anual de (5 t ha⁻¹) es decir un 63 %

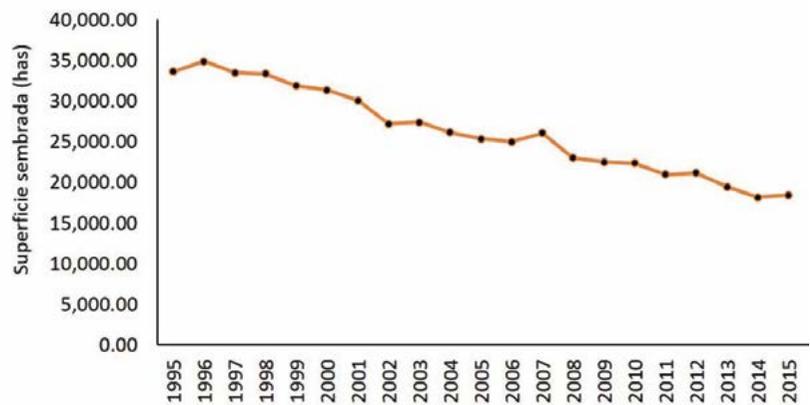


Figura 1. Superficie sembrada con mango 'Manila' (*Mangifera indica*) en la entidad de Veracruz de 1995- 2015. Fuente: SIAP. 2015 <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>

con respecto a años anteriores (Figura 2). El rendimiento promedio pasó de 9.62 t ha⁻¹ (2005), a su mínimo 1.88 t ha⁻¹ (2013) aumentando en el último año a 4.5 t ha⁻¹.

Por otra parte, el municipio de Técpan de Galeana, Guerrero, ha mantenido sus rendimientos medios anuales de mango 'Manila' en 15 t ha⁻¹, registrando el mayor rendimiento en 2014 con 19.3 t ha⁻¹, cinco veces mayor al rendimiento promedio de este fruto en Actopan (SIAP, 2015).

Como resultado de la investigación de campo se determinó que entre los mayores obstáculos de la producción y comercialización del mango 'Manila' se encuentran las moscas de la fruta que merman la producción de mango hasta en un 16 %, lo cual afecta severamente los ingresos del productor ya que el producto tiene

baja aceptación en el mercado. Los costos derivados del control de la mosca de la fruta son mínimos para el productor de mango, ya que las aplicaciones se encuentran subsidiadas por el gobierno a través del CESVVER. El valor de la reja de mango fluctuó durante la cosecha de 2016, teniendo un costo promedio de \$ 150 a \$ 310 pesos a la venta (\$ 10.33 por kg) (SNIIM, 2016).

Estudio II. Cambio de sistema agrícola de mango 'Manila' (*Mangifera indica*) a otros cultivos: causas y efectos

De acuerdo a los registros oficiales y a las encuestas aplicadas los cultivos sustitutos del mango son: chayotes (*Sechium edule*) (29 %), malanga (*Colocasia esculenta*) (21 %), otros cultivares de mango (25 %), limón (*Citrus latifolia*) (8 %), guanábana (*Annona muricata*) (8 %), y maracuyá (*Passiflora edulis*) (9 %) (Figura 3); cultivos que en su mayoría son de porte bajo y altamente demandantes en agroquímicos, lo que implica un cambio drástico en el entorno (Figura 4).

En el municipio de Actopan, Veracruz, las plantaciones de mango tienen en promedio más de 35 años con más de 20 metros de altura y en su mayoría no han recibido podas de rejuvenecimiento, lo que ocasiona que tengan una baja producción. El cambio de sistemas agrícolas de acuerdo a la información recabada se justifica a través de: 1) bajo rendimiento del mango 'Manila' en la zona (27 %); 2) precios bajos (26 %); 3) corta vida de anaquel frente a otras variedades que hay en el mercado (21 %); 4) plagas y enfermedades (18 %). Los cambios de cultivo ha sido percibidos favorables desde la perspectiva económica, ya que el cultivo sustituto les genera mayores ingresos con respecto al mango 'Manila'. Por otra parte, y de forma preocupante los pobladores indican que la remoción de la cobertura arbolada en algunas regiones ha generado alzas en la temperatura, disminución en las

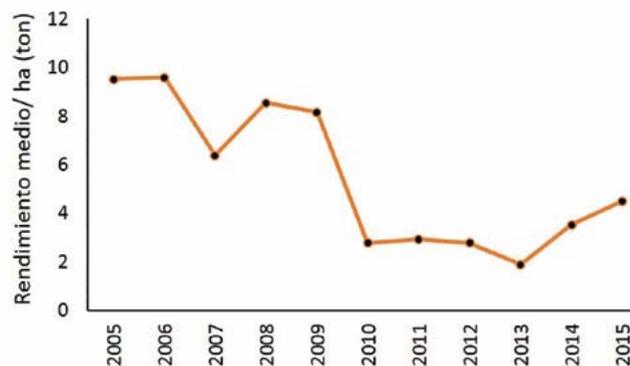


Figura 2. Rendimiento medio por hectárea de mango 'Manila' (*Mangifera indica*) en el municipio de Actopan, Veracruz de 2005-2015. Fuente: SIAP. 2015 <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>

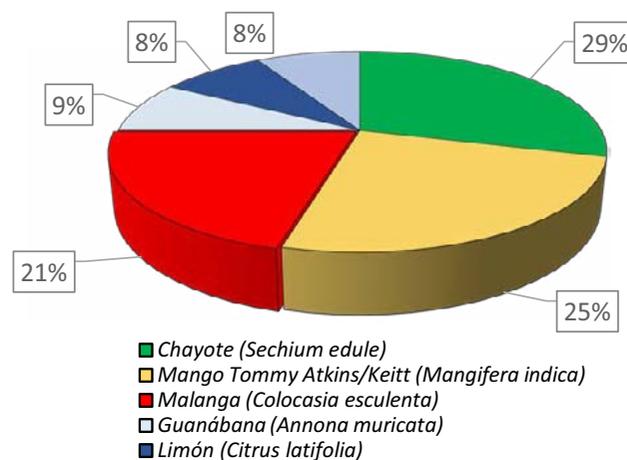


Figura 3. Cultivos sustitutos al mango 'Manila' (*Mangifera indica*) representados en porcentaje. Fuente: elaboración propia 2017 basado en resultado de encuestas.

lluvias, temporales desfasados, que provocan la pérdida de la floración, y en consecuencia disminución en la abundancia de polinizadores, aves e incrementos en la presencia de malezas.



Figura 4. Cultivo de (A) malanga (*Colocasia esculenta*) y (B) chayote (*Sechium edule*) que han sustituido al mango 'Manila' (*Mangifera indica*) en la región central de la cuenca del río Actopan, Veracruz.

Hoy día, tanto la cuenca central del río Actopan, como la cuenca del río La Antigua, tienen por su orografía y agroecosistemas de mango 'Manila' un alto potencial para el ecoturismo, que aprovecha el río y las áreas densamente arboladas para actividades deportivas. Trabajos recientes muestran además que los sistemas productivos de mango-pasto y bosque natural manejan índices de biodiversidad que van de uno para el bosque, 0.14 para el sistema productivo de mango y cero para el pasto. Lamentablemente el agroecosistema en que se produce el mango tiene una baja capacidad de fijación de carbono y de conservación de la biodiversidad, y un moderado índice de conservación de suelos (Rivera, 2014). Cabe resaltar, que habrá que comparar los índices de biodiversidad entre las áreas actualmente arboladas y aquellas que hoy día se destinan a la producción de malanga (*Colocasia esculenta*), chayote (*Sechium edule*), cítricos (*Citrus latifolia*), entre otros, cuyos índices de biodiversidad serán sin duda menores.

CONCLUSIONES

La información recabada indica que la producción de mango 'Manila' tiende a la baja dado a que la gran parte de los huertos ya no están en edad productiva, los precios del mango han bajado, la incidencia de plagas es alta, faltan tratamientos postcosecha para la venta en fresco, y faltan empresas procesadoras que den valor agregado a la producción. Lo anterior, ha llevado a que actualmente se busquen cultivos alternativos como la malanga (*Colocasia esculenta*), el chayote (*Sechium edule*), y en menor grado guanábana (*Annona muricata*) y cítricos.

LITERATURA CITADA

- Andrade F. 2017. Abren mercado de mango manila en EU. Reforma, Secc. Economía. 21 de febrero. Consultado 11/08/2017 en <http://www.reforma.com/aplicacioneslibre/articulo/default.aspx?id=1050482&md5=ed438e14cbb2723ce81978d67355d6fb&ta=0dfdbac11765226904c16cb9ad1b2efe&po=4>.
- Arias C., Toledo H. 2007. Manual de manejo postcosecha de frutas tropicales. Consultado el 11/08/2017 en: <http://www.fao.org/inpho/content/documents/vlibrary/ac304s/ac304s00.htm>.
- Bocanegra R.J.A. 2013. Clasificación por calidades del mango Manila mediante procesamiento de imágenes y según la norma NMX FF 058 SCFI 2006. Tesis Instituto Politécnico Nacional, 3 de julio 2013, Ciudad de México. Consultado el 11/08/2017 en <http://148.204.64.7/cake/SABERsvn/trunk/tesis/webVerTesis/678>
- Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Veracruz (CESVVER). 2016. Combate CESVVER mosca de la fruta. Consultado el 11/08/2017 en <http://www.cesvver.org.mx>.
- Comité Nacional del Sistema Producto Mango (CONASPROMANGO). 2012. Consultado el 11/08/2017 en http://dev.pue.itesm.mx/sagarpa/nacionales/EXP_CNISP_MANGO/

PLAN%20RECTOR%20QUE%20CONTIENE%20PROGRAMA%20DE%20TRABAJO%202012/PR_CNISP_MANGO_2012.pdf

- Diario Oficial de la Federación. 1999. Consultado el 11/08/2017 en www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4958062&fecha=15/12/1999
- Diario Oficial de la Federación. 2006. Consultado el 11/08/2017 en http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Lists/Instrumentos%20Tcnicos%20Normalizacin%20y%20Marcas%20Colecti/Attachments/98/NMX_MANGO.pdf
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2013. El Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación 2013. Consultado el 11/08/2017 www.fao.org/docrep/018/i3301s/i3301s.pdf.
- PROMEXICO. 2017. Tratados de Comercio. <http://www.promexico.mx/es/mx/tratados-comerciales> Consultado el 11/08/2017 en <https://www.gob.mx/se/>
- Reho A.I. 2015. Producción de mango en el sur de Sinaloa. Consultado el 11/08/2017 en <http://www.hortalizas.com/cultivos/produccion-de-mango-en-el-sur-de-sinaloa>
- Rivera-Berganza J.R. 2014. Evaluación de los servicios ambientales agua, biodiversidad, suelo y carbono en la finca los mangos, Estanzuela, Zacapa. Campus San Luis Gonzaga S. J. de Zacapa. Tesis de Grado. Guatemala.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2015. Consultado 11/08/2017 en <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/>
- Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM). 2017. Consultado el 11/08/2017 en <http://www.economia-sniim.gob.mx/2010prueba/PreciosHoy.asp?prodC=9049>



Moringa oleifera Lam. (Moringaceae): ÁRBOL EXÓTICO CON GRAN POTENCIAL PARA LA GANADERÍA ECOLÓGICA EN EL TRÓPICO

Moringa oleifera Lam. (Moringaceae): EXOTIC TREE WITH GREAT POTENTIAL FOR ECOLOGICAL LIVESTOCK PRODUCTION IN THE TROPICS

Casanova-Lugo F.¹; Cetzal-Ix W.^{2*}; Díaz-Echeverría V.F.¹; Chay-Canul A.J.³; Oros-Ortega I.¹;
Piñeiro-Vázquez A.T.⁴; González-Valdivia N.A.²

¹Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de la Zona Maya. Carretera Chetumal-Escárcega km 21.5, Ejido Juan Sarabia, Othón P. Blanco, Quintana Roo. C. P. 77965. ²Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Chiná. Calle 11 entre 22 y 28. Chiná, Campeche. C. P. 24520. ³Universidad Juárez Autónoma de Tabasco División Académica de Ciencias Agropecuarias. Carretera Villahermosa km 25, Teapa, Tabasco. C. P. 86040. ⁴Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Conkal. Avenida Tecnológico s/n Conkal, Yucatán. C. P. 97345.

*Autor para correspondencia: rolito22@hotmail.com

RESUMEN

En países tropicales de América, plantas exóticas como *Moringa oleifera* Lam. (Moringaceae), han sido escasamente evaluadas a pesar de poseer diversos atributos agro-ecológicos para la ganadería. El objetivo de esta revisión es presentar a *M. oleifera*, como una especie arbórea con alto potencial para la ganadería ecológica en las zonas tropicales de México y en Latinoamérica. Los resultados encontrados indican que esta especie es de rápido crecimiento, posee una alta producción de biomasa fresca (hasta 25.8 t ha⁻¹ año⁻¹), comparado con otras especies arbóreas forrajeras. Sus hojas son ricas en proteína (>18 %) y bajas en fibra (32.0 %), lo cual permite tener incrementos en la producción animal. Adicionalmente, en condiciones de campo *M. oleifera* puede asociarse con diversos microorganismos del suelo que contribuyen a mejorar la eficiencia de absorción de nutrimentos del suelo. También, sus hojas poseen una rápida tasa de descomposición (85.3 %) y liberación de N al suelo (89.0 %) en cuatro semanas de incubación, lo que podría contribuir a mejorar las propiedades físico-químicas del suelo. Las características del rápido crecimiento, alta producción de biomasa, buena calidad nutricional del forraje de *M. oleifera*, demuestran que es un árbol con alto potencial para la ganadería ecológica y que puede contribuir a la conservación de los suelos en las zonas tropicales.

Palabras clave: árboles forrajeros, descomposición de hojas, microorganismos edáficos, producción animal.

ABSTRACT

In tropical countries of America, exotic plants such as *Moringa oleifera* Lam. (Moringaceae) have been poorly evaluated despite having various agro-ecological attributes for livestock production. The objective of this review is to present *M. oleifera*, as a tree species with high potential for ecological livestock production in the tropical zones of Mexico and Latin America. The results indicate that it is a species of fast growth, and has high production of fresh biomass (up to 25.8 t ha⁻¹ yr⁻¹) compared to other forage tree species. Its leaves are rich in protein (>18 %) and low in fiber (32.0 %), which allows

Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 2, febrero. 2018. pp: 100-105.

Recibido: febrero, 2018. **Aceptado:** febrero, 2018.



increases in animal production. Additionally, under field conditions, *M. oleifera* can be associated with various soil microorganisms that contribute to improving the assimilation efficiency of soil nutrients. Also, its leaves have a fast rate of decomposition (85.3 %) and release of N to the soil (89.0 %) in four weeks of incubation, which could contribute to improve the physical-chemical properties of the soil. The characteristics of fast growth, high production of biomass, good nutritional quality of the *M. oleifera* forage, show that it is a tree with high potential for ecological livestock production and which can contribute to the conservation of soils in tropical zones.

Keywords: forage trees, leaf decomposition, soil microorganisms, animal production.

vienen en la liberación de nutrientes al suelo. Por lo anterior, el objetivo de la presente contribución es mostrar a la *M. oleifera*, como una especie arbórea con alto potencial para la ganadería ecológica en las zonas tropicales de México y en Latinoamérica.

Moringa Adans.

El género *Moringa Adans.* (Moringaceae) comprende 13 especies arbóreas, distribuidas en climas tropicales y subtropicales (CONABIO, 2016). La especie más popular del género es *M. oleifera*, un árbol nativo de la región sur de los Himalayas (India y Pakistán); cultivada en México, Mesoamérica, Venezuela, Guyana, Guayana Francesa, Antillas y trópicos de Asia y África (Monro, 2015). Esta especie se caracteriza por su hábito arbustivo (2-5 m) o arbóreo (menos de 10 m de alto), el tronco con la corteza lisa, blanquecina a grisácea, con hojas 2-3-pinnadas, flores con los sépalos y pétalos blancos a cremosos y frutos péndulos, lineares (Figura 1) (Zamora-Villalobos, 2007).

Esta planta se destaca por sus múltiples usos y adaptación a diferentes condiciones edafo-climáticas, por lo que constituye una opción para la alimentación, sobre todo en los países tropicales (CONABIO, 2016). La especie tiene una gran plasticidad ecológica, ya que es capaz de adaptarse a las diversas condiciones de suelo y clima. Su valor nutricional y los elevados rendimientos de biomasa, la hacen un recurso fitogenético de importancia en los sistemas de producción (Pérez *et al.*, 2010). *Moringa oleifera* es usada como forraje para animales, la planta contiene altos niveles de proteína, potasio, calcio, hierro, así como vitaminas A y C, comparada con otros forrajes,

INTRODUCCIÓN

Los indicadores de producción ganadera en América Latina han permanecido invariables en los últimos años debido a desventajas como la reducida cantidad y calidad de los forrajes a causa de las sequías periódicas y pérdida de las características físicas, químicas y biológicas del suelo (Ramos-Trejo *et al.*, 2015). Una alternativa a los problemas de degradación de los recursos naturales por cambios de uso de suelo es la implementación de sistemas silvopastoriles, que son formas de uso de la tierra, donde las leñosas perennes interactúan biológicamente en un área con pastos y/o animales; el propósito fundamental es diversificar y optimizar la producción e incrementar la productividad animal, respetando así el principio de sostenibilidad (Ramos-Trejo *et al.*, 2015). En algunas zonas tropicales, el cambio climático incrementa la frecuencia de sequías y la extensión de éstas, disminuyendo las opciones disponibles para incluir, dentro de sistemas sustentables, a especies forrajeras, debido a que además deben ser tolerantes a este fenómeno.

Una de las especies forrajeras tolerantes a sequía, consideradas como alternativas para el establecimiento de sistemas silvopastoriles es el árbol de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) (Ramos-Trejo *et al.*, 2015). La moringa se destaca por sus múltiples usos y adaptación a diferentes condiciones edafo-climáticas, por lo que constituye una opción para la alimentación, sobre todo en los países tropicales (CONABIO, 2016). Las hojas son comestibles y ricas en proteínas, con un perfil de aminoácidos esenciales muy balanceado, al mismo tiempo contiene vitaminas, principalmente vitamina A y C (Olson y Fahey, 2011).

Desde el punto de vista económico, social y medicinal, la moringa tiene características importantes tales como el rápido crecimiento, el alto contenido de nutrientes en su biomasa que son aportados al suelo, que previenen la degradación por factores externos como la desecación y altas temperaturas (Pérez *et al.*, 2010). La moringa también es usada como forraje debido a sus características nutricionales, a su alto rendimiento de producción de biomasa fresca (Magaña-Benitez, 2012), bajo costo de producción (Pérez *et al.*, 2010), y su capacidad de asociación con diversos microorganismos del suelo (i.e. hongos) quienes contribuyen en la nutrición de la planta misma e inter-

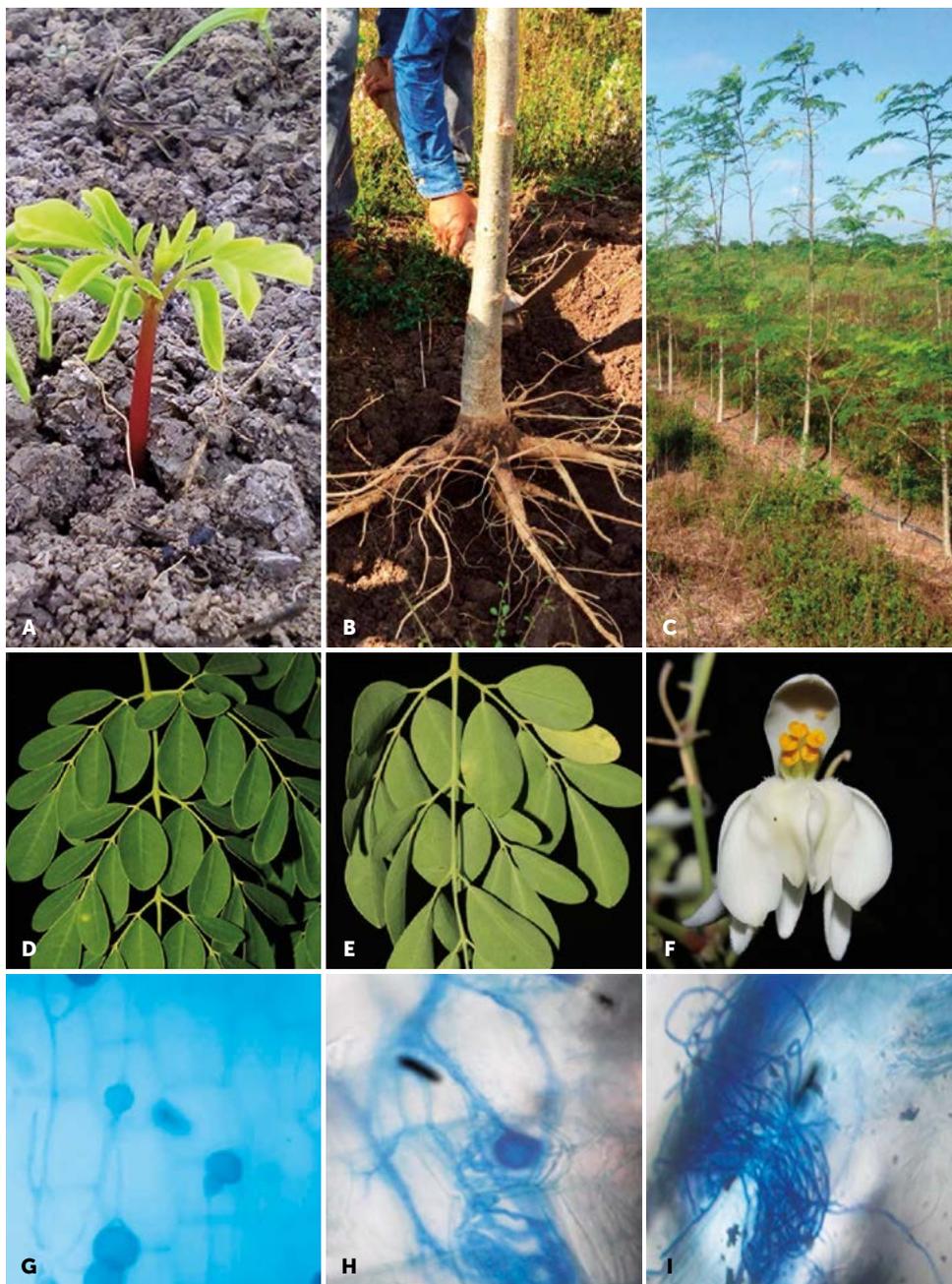


Figura 1. Morfología del árbol y estructuras de hongos micorrízicos en las raíces de *Moringa oleifera*. A. Plántula. B. Raíces de plantas adultas. C. Cultivo. D. Detalles del haz de la hoja. E. Detalle del envés de la hoja. F. Flor. G. Vesícula. H. Arbúsculos. I. hifas. Fotos: A-C. F. Casanova-Lugo. D-F. W. Cetzal-Ix. G-L. Pérez-Garfías y Valdez Velazco (inédito).

es mayor en cuanto al contenido de proteína cruda y menos contenido de componentes fibrosos (Magaña-Benítez, 2012). Debido a sus cualidades, se le considera una de las plantas más importantes del mundo con un alto impacto en la nutrición animal (Meza *et al.*, 2016).

Comportamiento agronómico

En México, los estudios sobre el comportamiento agronómico de *Moringa* son escasos. Por ejemplo, en bancos de forraje de siete años de establecimiento en Yu-

catán, México, a densidades de 10,000 plantas ha^{-1} se ha observado que posee una alta producción de biomasa fresca hasta 25.8 $\text{t ha}^{-1} \text{año}^{-1}$, comparado con *Guazuma ulmifolia* Lam. y *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit., con rendimientos de hasta 26.6 y 40.2 $\text{t ha}^{-1} \text{año}^{-1}$, respectivamente (Gallegos-Pérez *et al.*, 2013).

Un estudio realizado recientemente en Quintana Roo, México, muestra que la densidad de plantación tiene un efecto significativo en el crecimiento de *M. oleifera* en suelos gleysoles en condiciones de trópico subhúmedo (Cuadro 1) (Ordoñez, 2017). Este mismo efecto ha sido registrado en Cuba por Sosa-Rodríguez *et al.* (2017), quienes evaluaron diferentes densidades de siembra, registrando que a menor distancia de siembra el aumento en altura total y en el rendimiento de biomasa es mayor, mientras que el número de brotes es significativamente menor.

La moringa tolera podas regulares, su emisión de brotes es de 4 a 5 ramas por cada tallo en promedio, con mayor crecimiento de ramas cuando se poda el tallo entre 6 a 8 cm de

diámetro. Es tolerante a la sequía debido a su raíz pivotante engrosada, con la capacidad de almacenar hormonas de crecimiento, nutrientes y agua, así como de generar nuevos brotes, incluso en etapas tempranas de su crecimiento como plántula; su potencial como agente promotor de enraizamiento ha sido probado en estacas de especies leñosas con resultados equiparables a enraizadores comerciales (Balan-Castillo, 2015). También se ha determinado su potencial como fuente para elaborar tortas proteicas para abejas melíferas a partir de

sus hojas (Hernández-González, 2017); asimismo, se ha determinado que a nivel de plántula responde a la fertilización, incrementando su crecimiento (Marín-Arenas, 2014).

Por otra parte, Tzuc-Martínez *et al.* (2017), realizó un estudio en Yucatán, México, indicando que *M. oleifera* posee buena capacidad para el control de arvenses en sistemas agro-silvopastoriles debido a sus características arquitectónicas de la copa, que reduce la interceptación lumínica al suelo y en consecuencia, no permite las condiciones ambientales favorables para la germinación de arvenses, además; sus hojas aunque muestran bajos contenidos de taninos (metabolitos secundarios), son suficientes para inhibir dicha germinación, por lo que estos autores mencionan que el potencial de supresión de arvenses de esta especie es del 26 %, bastante efectivo cuando se compara con especies leñosas como *L. leucocephala* y *G. ulmifolia*, las cuales muestran mayores contenidos de taninos y mimosina, y que poseen un potencial de supresión del 23 y 36 %, respectivamente.

Moringa oleifera en la alimentación de rumiantes

La fracción comestible de *M. oleifera* comparada con otros forrajes como, el pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.), pretoria (*Dichanthium annulatum* (Forssk.) Stapf), zacate Johnson (*Sorghum halepense* (L.) Pers.), entre otros, es mayor en cuanto al contenido de proteína cruda y menor en el con-

Cuadro 1. Crecimiento de *M. oleifera* a 150 días después del trasplante en diferentes densidades de plantación en un suelo gleysol el sur de Quintana Roo, México (Ordóñez, 2017).

Parámetros	Densidad de plantación (plantas ha ⁻¹)		
	5,000	6,667	10,000
Altura total (cm)	204.6 a	178.2 b	132.6 b
Diámetro del tallo (mm)	34.2 a	25.2 b	21.5 b
Número de hojas	34.3 a	13.0 b	9.8 b
Número de ramas	5.5 a	1.1 b	0.5 b

Medias con literales distintas en cada fila indican diferencias significativas ($p < 0.05$) de acuerdo a Tukey.

tenido de componentes fibrosos (Cuadro 2); debido a estas cualidades se le considera una de las plantas más importantes del mundo, con un alto impacto sobre la nutrición animal (Meza *et al.*, 2016).

Las hojas de *M. oleifera* tienen aminoácidos esenciales, incluidos los aminoácidos azufrados en niveles superiores que los recomendados por la Organización de Alimentos y Agricultura, con patrones similares a los de las semillas de soya (*Glycine max* (L.) Merr.). Los análisis de la composición proximal de semillas de *M. oleifera* han mostrado altos niveles de lípidos y proteínas con pocas variaciones que pueden explicarse por las diferentes condiciones climáticas, la época del año y los diferentes tipos de suelo a partir de los cuales se recolectaron las semillas. Abdulkarim *et al.* (2005) describieron altos niveles de proteínas totales (383.0 ± 13.0 g kg⁻¹ de materia seca), que resultaron ser mayores que las semillas leguminosas impor-

Cuadro 2. Composición nutricional promedio de los diferentes componentes de *Moringa oleifera* Lam. en un suelo gleysol el sur de Quintana Roo, México (Ordóñez, 2017).

Componentes	PC (%)	MO (%)	FDN (%)	CEN (%)
Hojas	18.1	87.8	32.0	7.5
Tallo y ramas	4.6	89.2	66.7	6.3
Raíz	4.6	88.9	39.4	7.9

PC, Proteína cruda (Nitrógeno total $\times 6.25$); MO, materia orgánica; FDN, fibra detergente neutro; CEN, Cenizas.

tantes para la nutrición humana, cuyas semillas secas usualmente contienen de 18 a 25 % de proteína.

En relación con los factores anti-nutricionales, las hojas tienen una baja cantidad de taninos (12 g kg⁻¹ de materia seca), fitato (21 g kg⁻¹ de ma-

teria seca) y ausencia de inhibidores de tripsina y amilasa, lectinas, glucósidos cianogénicos y glucosinatos. Las vainas y el tallo contienen cantidades irrelevantes de taninos, pero las saponinas y los alcaloides están presentes en cantidades biológicamente importantes en las hojas y el tallo (80 g kg⁻¹ de materia seca), respectivamente, aunque en niveles considerados no tóxicos para los rumiantes.

Estudios realizados en Israel por Cohen-Zinder *et al.* (2016) señalan que la inclusión de follaje de *M. oleifera* en silos a base de heno de trigo y melaza de caña de azúcar mejoró el consumo voluntario en vacas lactantes, asimismo incrementó el rendimiento de leche y de grasa de leche en 1.91 % y 4.26 %, respectivamente. Además, estos mismos autores señalan que la leche de las vacas alimentadas con *M. oleifera* se caracterizó por tener un 20 % más de actividad antioxidante en comparación con las vacas del tratamiento control.

Asimismo, un estudio con vacas lactantes en Nicaragua señaló que la suplementación con follaje de *M. oleifera* incrementó el consumo de materia seca de 8.5 a 10.2 y 11.0 kg por día y la producción de



leche de 3.1 a 4.9 y 5.1 kg por día, en comparación con el heno solo de *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf) y la suplementación con 2 kg y 3 kg de materia seca de *M. oleifera*, respectivamente. La grasa de la leche, los sólidos totales y la proteína cruda y las características organolépticas, el olor, el sabor y el color, no fueron significativamente diferentes entre las dietas. Los coeficientes de digestibilidad aparente de materia seca, materia orgánica, proteína cruda, fibra detergente neutro y fibra detergente ácido aumentaron en las dietas suplementadas con *M. oleifera* en comparación con solo *B. brizantha* (Reyes-Sánchez *et al.*, 2006).

Por su parte, Aregheore (2002) señaló que en cabras cruzadas (Anglo-Nubian×Local Fiji), la inclusión del 20 al 50 % del forraje de *M. oleifera* mostraron mayores ganancias de peso vivo, y una mayor digestibilidad de la materia seca, proteína cruda, fibra detergente neutro, materia orgánica y energía en comparación con el tratamiento testigo a base de forraje de *Ischaemum aristatum* L.

Asociaciones de *Moringa oleifera* con microorganismos del suelo

Moringa oleifera, como la mayoría de las plantas, establecen interacciones con diferentes microorganismos del suelo, principalmente hongos micorrízicos, para incrementar su adquisición de nutrimentos tales como N y P, así como generar la protección contra patógenos (Knopf *et al.*, 2013).

Lo anterior toma importancia dado que, en México, la mayor superficie de suelos destinados para la ganadería se encuentra en proceso de degradación, debido a la pérdida de fertilidad y la compactación por el sobrepastoreo, lo que disminuyen su productividad biológica y su capacidad actual o futura para sostener la vida (Oldeman, 1998). En consecuencia, año con año los productores tienen la necesidad de remover la vegetación natural para el establecimiento de nuevas áreas de pastoreo a base de monocultivos de gramíneas (INEGI, 2014). No obstante, a pesar de esta problemática, el papel de las interacciones con microorganismos del suelo (i.e. asociaciones micorrízicas) ha sido poco explorado.

Al respecto existen escasos estudios en relación a la diversidad de especies asociadas con plantas con potencial agroforestal como moringa, por ejemplo; Pita-Hernández *et al.* (2013), comprobaron que existe asociación micorrízica entre *M. oleifera* y *Glomus fasciculatum*. Asimismo, Knopf *et al.* (2013) muestran que en condiciones

de campo, *M. oleifera* puede asociarse con *G. hoyi*, *G. mosseae* y *G. intraradices*, por lo que pueden contribuir a mejorar la eficiencia de absorción de nutrimentos del suelo debido a que las micorrizas incrementan la superficie radical para la absorción de agua y elementos esenciales como N, P, K, Ca, Mg, Cu, Mn, Zn, S y B (Smith y Read, 2008; Muñoz-Márquez *et al.*, 2009).

Descomposición de hojarasca y liberación de nitrógeno al suelo

Las tasas de descomposición son un indicador de la funcionalidad de los procesos de los ecosistemas en el suelo y de los ciclos de nutrimentos, que incluyen descomposición de la hojarasca y el aporte de nutrimentos y en el que los organismos del suelo desempeñan un papel central (Tian y Badejo, 2001).

De acuerdo a Petit-Aldana *et al.* (2012), las pérdidas de masa y liberación de N al suelo de las hojas de *M. oleifera* fueron rápidas a las 4 semanas de incubación (85.3 y 89.0 %, respectivamente). Lo anterior se debe a que el proceso inicial es realizado por la macro-fauna generalista del suelo, que es la encargada de fragmentar físicamente los residuos vegetales con el fin de mejorar las condiciones del material para que la micro-fauna pueda continuar con el proceso de descomposición (Reynolds y Hunter, 2001).

CONCLUSIÓN E IMPLICACIONES

El rápido crecimiento, la alta producción y calidad de biomasa, la relativa falta de componentes anti-nutricionales en las hojas, entre otros atributos de *M. oleifera*, señalan que esta especie arbórea posee un alto potencial para la ganadería ecológica, ya que podría ser una excelente fuente de forraje de calidad para la alimentación animal, además de contribuir a la conservación de los suelos en las zonas tropicales.

A pesar de lo anterior, en México y en general en América Latina, la información sobre la respuesta de crecimiento de *M. oleifera* bajo diferentes condiciones de suelo y de humedad es escasa. Más aun, en sistemas silvopastoriles, la información es incipiente pues se desconoce el momento óptimo para su aprovechamiento (i.e. frecuencia de pastoreo y altura de poda) cuando se encuentra asociada con pastos tropicales, lo que podría limitar el rendimiento y calidad nutricional del forraje y, consecuentemente, la producción animal. Por lo anterior, es necesario realizar más estudios que permitan contribuir al conocimiento sobre el establecimiento y comportamiento

agronómico de *M. oleifera* en sistemas silvopastoriles en condiciones tropicales, lo que permitiría una conversión de la ganadería tradicional, basada en monocultivos de gramíneas hacia una ganadería ecológica.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento otorgado al proyecto: "Establecimiento de un banco de forraje de *Moringa oleifera* para la alimentación de ovinos de pelo en el sur de Quintana Roo" con clave: 6105.17-P. Asimismo, al IT de la Zona Maya por el apoyo y facilidades brindadas a los autores.

LITERATURA CITADA

- Abdulkarim S.M., Long K., Lai O. M., Muhammad S.K.S., Ghazali H.M. 2005. Some physico-chemical properties of *Moringa oleifera* seed oil extracted using solvent and aqueous enzymatic methods. *Food Chemistry* 93: 253-63.
- Aregheore E.M. 2002. Intake and digestibility of *Moringa oleifera*-batiki grass mixtures for growing goats. *Small Ruminant Research* 46: 23-28.
- Balan-Castillo F.R. 2015. Potencial de enraizamientos de tres fuentes hormonales naturales sobre estacas de ciruela (*Spondias purpurea*), chaya (*Cnidioscolus aconitifolius*) y ciricote (*Cordia dodecandra*). Instituto Tecnológico de Chiná, Campeche. Campeche. 40 p.
- Cohen-Zinder M., Leibovich H., Vaknin Y., Sagi G., Shabtay A., Ben-Meir Y., Nikbachat M., Portnik Y., Yishay M., Miron J. 2016. Effect of feeding lactating cows with ensiled mixture of *Moringa oleifera*, wheat hay and molasses, on digestibility and efficiency of milk production. *Animal Feed Science and Technology* 211: 75-83.
- CONABIO. 2016. *Moringa oleifera* Lam. Disponible en: <http://www.naturalista.mx/taxa/165529-Moringa-oleifera> (consultado 25 diciembre 2017).
- Gallegos-Pérez M., Caamal-Maldonado A., Casanova-Lugo F., Tzuc-Martínez R. 2013. Rendimiento de forraje de especies arbóreas en sistemas agroforestales y su uso como abono verde para el maíz. In: Chay-Canul A.J., Casanova Lugo F. (eds.). La contribución del sector pecuario a la seguridad alimentaria en México. Primera edición, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México, pp. 943-946.
- Hernández-González O.A. 2017. Evaluación de un suplemento proteico a base de moringa (*Moringa oleifera*) como estrategia de alimentación de colonias de abejas melíferas. Instituto Tecnológico de Chiná. Campeche. 42 p.
- INEGI. 2014. Erosión de suelos en México, escala 1: 250 000. Boletín de prensa Núm. 295/14 2014. I Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Aguascalientes.
- Knopf E., Blaschke H., Munch J. 2013. Improving *Moringa* growth by using Autochthonous and Allochthonous arbuscular mycorrhizal fungi in Lake Victoria Basin. *West African Journal of Applied Ecology* 21: 47-57.
- Magaña-Benitez W. 2012. Aprovechamiento poscosecha de la moringa (*Moringa oleifera*). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 13: 171-174.
- Marín-Arenas R. 2014. Efecto de la fertilización química en el crecimiento de plántulas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.). Instituto Tecnológico de Chiná, Campeche. 32 p.
- Meza Z., Olivares E., Gutiérrez E., Bernal H., Aranda J., Vázquez R., Carranza R. 2016. Crecimiento y producción de biomasa de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) bajo las condiciones climáticas del Noreste de México. *Tecnociencia Chihuahua* 10: 143-153.
- Monro A.K. 2015. *Moringa oleifera* Lam. Missouri Botanical Garden. Disponible en: <http://www.tropicos.org/name/21400003?projectid=3> (Consultado 05 enero, 2018).
- Muñoz-Márquez E., Macías-López C., Franco-Ramírez A., Sánchez-Chávez E., Jiménez-Castro J., González-García J. 2009. Identificación y colonización natural de hongos micorrizicos arbusculares en nogal. *Terra Latinoamericana* 27: 355-361.
- Oldeman L.R. 1998. Guidelines for general assessment of the status of human-induced soil degradation. Working paper 88/4. International Soil Reference and Information Centre (ISRIC). Wageningen, The Netherlands.
- Olson M., Fahey J. 2011. *Moringa oleifera*: un árbol multiusos para las zonas tropicales secas. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82: 1071-1082.
- Ordoñez J. 2017. Establecimiento de un banco de forraje de *Moringa oleifera* para la alimentación de ovinos de pelo en el sur de Quintana Roo. Instituto Tecnológico de la Zona Maya. Juan Sarabia. 35 p.
- Pérez A., Sánchez T., Armengol N., Reyes F. 2010. Características y potencialidades de *Moringa oleifera* Lam., una alternativa para la alimentación animal. *Pastos y Forrajes* 33: 1-16.
- Petit-Aldana J., Uribe-Valle G., Casanova-Lugo F., Solorio-Sánchez J., Ramírez-Avilés L. 2012. Descomposición y liberación de nitrógeno y materia orgánica en hojas de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, *Guazuma ulmifolia* Lam. y *Moringa oleifera* Lam. en un banco mixto de forraje. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 18: 5-25.
- Pita-Hernández A., Miranda-Sierra C.A., García-Quiñones E., Valdés-Iglesias M.A. 2013. Asociación micorrizica entre *Moringa oleifera* Lam. y el *Glomus fasciculatum*. *Avances* 15: 215-226.
- Ramos-Trejo O., Castillo-Huchin J., Sandoval-Gío J.J. 2015. Efecto de intervalos y alturas de corte en la productividad forrajera de *Moringa oleifera*. *Revista Bio Ciencias* 3(13):187-194.
- Reyes-Sánchez N., Spöndly E., Ledin I. 2006. Effect of feeding different levels of foliage of *Moringa oleifera* to creole dairy cows on intake, digestibility, milk production and composition. *Livestock Science* 101: 24-31.
- Reynolds B.C., Hunter, M.D. 2001. Responses of soil respiration, soil nutrients, and litter decomposition to inputs from canopy herbivores. *Soil Biology and Biochemistry* 33: 1641-1652.
- Smith S.E., Read D.J. 2008. *Mycorrhizal Symbiosis*. 3a ed. Academic Press. Londres. 787 pp.
- Sosa-Rodríguez A.A., Ledea-Rodríguez J.L., Estrada-Prado W., Molinet-Salas D. 2017. Efecto de la distancia de siembra en variables morfoagronómicas de moringa (*Moringa oleifera*). *Agronomía Mesoamericana* 28: 207-211.
- Tian G., Badejo, M. A. 2001. Soil fauna and soil fertility. In: Tian G., Hatfield J.L., Ishida F. (eds.). *Sustaining Soil Fertility in West Africa*. SSSA Special Publication. Madison, Wisconsin. pp. 45-67.
- Tzuc-Martínez R., Casanova-Lugo F., Caamal-Maldonado A., Tun-Garrido J., González-Valdivia N., Cetzal-Ix W. 2017. Influencia de las especies leñosas en la dinámica de arvenses en sistemas agroforestales en Yucatán, México. *Agrociencia* 51: 315-328.
- Zamora-Villalobos N. 2007. *Moringaceae*. En: *Manual de Plantas de Costa Rica*. Vol. VI. B.E. Hammel, M.H. Grayum, C. Herrera & N. Zamora (eds.). *Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden* 111: 676-677.

Moringa oleifera Lam.: UNA ALTERNATIVA FORRAJERA EN LA PRODUCCIÓN PECUARIA EN MÉXICO

Moringa oleifera Lam.: AN ALTERNATIVE FODDER IN LIVESTOCK PRODUCTION IN MEXICO

Alvarado-Ramírez, E.R.¹; Joaquín-Cancino, S.^{1*}; Estrada-Drouaillet, B.¹;
Martínez-González, J.C.¹; Hernández-Meléndez, J.¹

¹Facultad de Ingeniería y Ciencias. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Centro Universitario Victoria, Edificio Centro de Gestión del Conocimiento, Cuarto Piso. Cd. Victoria, Tamaulipas. C. P. 87120. Tel. 01 834 318 17 21.

*Autor de correspondencia: sjoaquin@docentes.uat.edu.mx

RESUMEN

La moringa (*Moringa oleifera* Lam.) es una especie arbórea, nativa de la región noroeste de la India, con gran potencial para su uso como forraje en la alimentación de ganado, debido a su alto contenido de proteína. Sin embargo, algunos estudios muestran resultados controversiales. En este sentido, el objetivo de este artículo de revisión es analizar la información fundamentada en el conocimiento científico de moringa, que permita sustentar la posibilidad de su utilización como recurso forrajero en la producción pecuaria en México. En territorio mexicano, esta especie se encuentra ampliamente distribuida por la costa del Pacífico, donde se cultiva principalmente con fines ornamentales y nutraceuticos. En otros países esta especie es utilizada como un complemento en la alimentación animal por el contenido proteico que posee, que oscila en un rango de entre 226.0 a 268.0 g kg⁻¹ de materia seca (MS). Además, la inclusión de moringa de hasta un 50 % en las dietas de animales, incrementa la ganancia diaria de peso, lo que disminuye la utilización de suplementos comerciales para cubrir los requerimientos de los animales, principalmente en la época de estiaje. Se concluye que el forraje de moringa contiene cantidades elevadas de proteína, por lo que puede ser considerada como un complemento en la alimentación animal, aunque es necesario realizar estudios del cultivo de esta especie en el país, para potencializar su producción y aplicación en la alimentación animal.

Palabras clave: Alimentación animal, especies forrajeras, *Moringa oleifera*, valor nutricional.

ABSTRACT

Moringa (*Moringa oleifera* Lam.) is a tree species, native of northwestern India, which has a great potential to be used as forage in animal nutrition, due to its high protein content. Nevertheless, some studies present controversial results. In this sense, the objective of this review article is to analyze the information based on scientific knowledge of moringa, which allows supporting the possibility of its use as a fodder source in livestock production in Mexico. In the Mexican territory, this species is widely distributed along the Pacific coast, where it is cultivated primarily for ornamental and nutraceutical purposes. In other countries this species is used as a supplement in animal nutrition because of its protein content,



Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 2, febrero. 2018. pp: 106-110.

Recibido: julio, 2017. **Aceptado:** diciembre, 2017.

which ranges between 226.0 to 268.0 g kg⁻¹ dry matter (DM). In addition, the inclusion of moringa in up to 50 % of the diet of animals increases daily gain weight, which decreases the use of commercial supplements to cover the requirements of animals, mainly in the dry season. It is concluded that moringa forage contains high amounts of protein, so it can be considered as a complement in animal nutrition; however, it is necessary to carry out studies of the cultivation of this species in Mexico, to potentiate its production and application in animal nutrition.

Keywords: Animal nutrition, forage species, *Moringa oleifera*, nutritional value.

INTRODUCCIÓN

La ganadería es una actividad productiva importante en el mundo, que representa una fuente de ingresos económicos para el 70 % de la población rural a nivel mundial (FAO, 2008). En el trópico mexicano, el método más práctico y económico para desarrollar esta actividad, es mediante la utilización de pastizales tanto naturales como inducidos (Pinto *et al.*, 2005), así como los residuos de cosechas (Goel y Makkar, 2012) como base para la alimentación de rumiantes (Palma, 2006). Sin embargo, la disponibilidad y calidad nutritiva de este recurso forrajero, es mermada durante la época de sequía (Hernández *et al.*, 2002; Cuadrado *et al.*, 2004; Benítez-Bahena *et al.*, 2007; Herrera *et al.*, 2013), lo que ocasiona disminución en los índices de productividad. Ante esta problemática, se ha implementado como alternativa de solución la utilización de forraje proveniente de especies vegetales arbóreas y arbustivas (Pinto *et al.*, 2005), como lo es la moringa (*Moringa oleifera* Lam.).

La moringa una especie arbórea que pertenece a la familia Moringaceae, nativa del sur del Himalaya y noroeste de la India. Representa una fuente valiosa de forraje para el ganado ya que sus hojas presentan alto contenido de proteínas, vitaminas, minerales y cantidades bajas de compuestos antinutricionales (Olson y Fahey, 2011). Adicionalmente, esta planta es de rápido crecimiento, con un rendimiento de materia seca elevado (Reyes *et al.*, 2006a; Nouman *et al.*, 2014) y resistente a sequías prolongadas (Abdulkarim *et al.*, 2007). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es analizar la información fundamentada en el conocimiento científico de moringa, que

permita sustentar la posibilidad de su utilización como recurso forrajero en la producción pecuaria.

Características botánicas de moringa

La moringa es una planta perenne que logra vivir un promedio de 20 años (Maydell, 1986); es de crecimiento rápido y puede alcanzar siete metros de altura durante el primer año (Olson, 2010), con un máximo de 10 a 12 m de altura (Parrota, 1996; Makkar y Becker, 1997) y un diámetro del fuste de 40 cm (Olson, 2010). Posee una copa abierta (tipo paraguas) de ramas inclinadas y frágiles (Morton, 1991), sus hojas son compuestas y alternas, con un total de cuatro a ocho pares de pinas (Parrota, 1996), de 25 a 45 cm de longitud (Ramachandran *et al.*, 1980). Las flores son bisexuales, con pétalos blancos, estambres amarillos (Reyes *et al.*, 2006; Falasca y Bernabé, 2008) y emergen en racimos (Reyes, 2004). Los frutos (vainas) forman una cápsula larga, que al madurar se divide en tres valvas y quedan unidas únicamente en la base del fruto (Little *et al.*, 1964; Reyes *et al.*, 2006a). Las semillas son de color café oscuro, redondas, de un centímetro de diámetro (Ramachandran *et al.*, 1980) y presentan tres alas blanquecinas (Duke, 1983), las cuales facilitan su propagación por acción del viento (Reyes *et al.*, 2006a). La raíz es pivotante, profunda y en forma de rábano (Alfaro y Martínez, 2008), que le confiere resistencia ante periodos prolongados de sequía (Parrota, 1996).

Adaptación a condiciones edafoclimáticas

Las condiciones edáficas y ambientales de una región influyen significativamente en el crecimiento, desarrollo y productividad en las plantas. En su hábitat natural la moringa soporta temperaturas entre -1 y 3 °C durante los meses más fríos, mientras que en los meses más calurosos tolera de 38 a 48 °C. Crece desde el nivel del mar hasta los 1,400 m de altitud y requiere entre 750 y 2,200 mm de precipitación anual (Muhl *et al.*, 2011). De acuerdo con García Roa (2003), en Centroamérica la moringa se localiza desde 0 hasta los 1,800 msnm, con temperaturas promedio mínimas y máximas de 6 y 38 °C, respectivamente; sin embargo, no resiste temperaturas por debajo de 2 a 3 °C y en temperaturas menores a 14 °C se inhibe su floración.

Por otra parte, Padilla *et al.* (2012), explican que crece adecuadamente en condiciones áridas y semiáridas y tolera las condiciones de sequía, aunque no tolera los suelos arcillosos y con drenaje deficiente. No obstante, el estrés hídrico afecta su crecimiento y origina una defoliación en la planta (Reyes *et al.*, 2006a). Otros reportes

indican que la moringa se desarrolla de manera adecuada en altitudes de 0 a 1,800 msnm, con un rango de precipitación entre 500 y 1,500 mm año⁻¹ (Reyes *et al.*, 2006a), temperatura media anual de 18.0 a 28.5 °C y rango de pH de suelo entre 4.5 y 8.0, siendo más favorables los suelos neutros o ligeramente ácidos (Duke, 1983).

Rendimiento de biomasa

Una densidad de plantas adecuada es clave para la obtención de una máxima producción de biomasa (Zheng *et al.*, 2016), debido al mayor aprovechamiento de la radicación solar, mediante una mayor cobertura foliar (Sadeghi *et al.*, 2009). Adicionalmente, a mayores densidades de población, existe adecuado desarrollo radicular, incrementando la absorción de nutrientes y retención de humedad en el suelo (Goss, 2012). De acuerdo con Reyes *et al.* (2006a) la densidad de 750,000 plantas ha⁻¹ incrementa el rendimiento de biomasa en materia seca (MS), en tanto que densidades de 250,000 a 750,000 plantas ha⁻¹ y frecuencia de corte de 45 días, proporcionan un rendimiento de 71.4 t ha⁻¹ año⁻¹ de materia fresca (MF), equivalentes a 13.5 t ha⁻¹ año⁻¹ de MS. Más aún, un millón plantas⁻¹ ha⁻¹ es la densidad de población óptima, considerando la producción de biomasa, costos de establecimiento, manejo del corte y control de malezas (Foidl *et al.*, 2001).

Por otro lado, es importante mencionar que por el hábito de crecimiento que presenta moringa, cuando el objetivo de producción es forraje, regularmente se poda para limitar el desarrollo de la copa y estimular el crecimiento de nuevas ramas (Ramachandran *et al.*, 1980). Sin embargo, es probable que exista una reacción negativa al corte cuando el diámetro de tallos es pequeño (5-10 mm), lo que indica que la capacidad para producir rebrotes se limita (Foidl *et al.*, 2001). Además, existe una tendencia marcada en incrementar el rendimiento cuando se utilizan frecuencias de corte prolongadas, debido, probablemente, a la capacidad que tiene la planta de acumular reservas durante mayor periodo de tiempo y consecuentemente, obtención de rebrotes más vigorosos reflejado en mayor producción (Sadeghi *et al.*, 2009). En este sentido, al evaluar la altura (10, 20, 30 y 40 cm) y frecuencia de corte (45 y 60 días) en moringa, Santiesteban *et al.* (2012), obtuvieron mayor rendimiento de forraje al utilizar la intensidad de 40 cm y frecuencia de corte de 60 días. Adicionalmente, se ha encontrado que, al utilizar menores densidades de población, resulta favorable cosechar a mayor altura con el fin de obtener tallos de mayor diámetro y con mayor número de rebrotes (Padilla *et al.*, 2014).

Valor nutritivo y compuestos antinutricionales

La moringa posee un excelente valor nutritivo, por lo que es considerada como un forraje de calidad. Forrajes que contienen menos del 8 % de proteína cruda (PC) en base seca son considerados de baja calidad (Leng, 1990). Las hojas de moringa deshidratada presentan contenidos de PC de 170.0 a 260.8 g kg⁻¹ de MS, fibra detergente neutro de 321.2 a 521.0 g kg⁻¹ de MS y fibra detergente ácido de 223.5 a 361.0 g kg⁻¹ de MS (Mendieta *et al.*, 2009; Reyes *et al.*, 2006a); digestibilidad *in vitro* de la materia seca en hojas y tallos de 79 y 57 %, respectivamente y energía metabolizable de 2.27 Mcal kg⁻¹ de MS (Reyes, 2004). Moyo *et al.* (2011) reportaron la presencia

de diecisiete aminoácidos en hojas de moringa, dentro de los cuales se encontró alanina en mayor proporción (3.03 %) y cisteína en menor (0.01 %), mientras que Sánchez-Machado *et al.* (2010), encontraron catorce aminoácidos.

La principal limitación para el consumo de forrajes arbóreos por rumiantes es la presencia de contenidos altos de compuestos antinutricionales como los taninos (Patterson *et al.*, 1998). Al analizar hojas de moringa deshidratada, Richter *et al.* (2003) encontraron 0.5 % de taninos, 2.7 % de compuestos fenólicos totales y no observaron la presencia de ningún componente inhibidor de la tripsina. De manera similar, Makkar y Becker (1996) encontraron 1.4 % de taninos y 3.4 % de compuestos fenólicos totales. Makkar y Becker (1997) explican que estos niveles de taninos pueden ser tolerados sin ningún efecto adverso sobre el consumo y digestibilidad del forraje, en tanto que Peterson *et al.* (1998) mencionan que la presencia de compuestos antinutricionales en algunas especies arbóreas no afecta la calidad del forraje.

Utilización en la alimentación de animal

Debido al elevado contenido de proteína, vitaminas y minerales que se encuentran en hojas de moringa (Olson y Fahey, 2011), diversos investigadores han propuesto a esta especie como una alternativa para incrementar la calidad nutritiva de los forrajes utilizados en la alimentación de rumiantes (Garavito, 2008). En caprinos la inclusión de 9 % de hojas de moringa aumenta la ingesta de materia seca (MS) de 258 a 335 g animal⁻¹ día⁻¹ (Sarwatt *et al.*, 2002). Aregheore (2002), reportó que la ganancia de peso (GP) aumenta de

55 a 86 g animal⁻¹ día⁻¹ mediante el uso de suplemento de moringa a un nivel del 20 % en la dieta base. Lo anterior coincide con lo reportado por Reyes *et al.* (2009), quienes indican que existe una mejor respuesta en la GP (de 31 a 118 g animal⁻¹ día⁻¹) en ovinos al complementar el consumo *ad libitum* de pasto *Panicum maximum* con 500 g de MS de moringa. Con respecto a la producción de leche en pequeños rumiantes, Babiker *et al.* (2017), evaluaron el efecto de la sustitución de 25 % de heno de alfalfa por pellet de hoja de moringa en cabras y ovejas, donde encontraron un incremento sustancial en la producción de 1.84 a 2.63 kg día⁻¹ y de 3.46 a 5.34 kg día⁻¹, respectivamente.

Al incluir forraje de moringa a un nivel de 40 a 50 % en la dieta formulada para bovinos de carne, Price (2000) logró incrementar la GP de 900 a 1,200 g animal⁻¹ día⁻¹. Por su parte, Mendieta-Araica *et al.* (2011), explican que con la inclusión del 20 % de MS de hoja de moringa en una dieta para bovinos de leche, se obtuvo una producción de 12.3 kg vaca⁻¹ día⁻¹, lo cual resulta estadísticamente similar a la producción obtenida con la inclusión del 20 % de harina de soya (13.2 kg vaca⁻¹ día⁻¹). En este sentido, al complementar las dietas con dos y tres kg de MS de moringa, el consumo *ad libitum* del pasto *Brachiaria brizantha* en bovinos de leche, se incrementa la ingesta de MS de 8.5 a 11.0 kg vaca⁻¹ día⁻¹ así como la producción de leche con valores de 3.1 hasta 5.1 kg vaca⁻¹ día⁻¹ (Reyes *et al.*, 2006b).

CONCLUSIÓN

La información científica existente, evidencia las propiedades nutricionales que posee la mo-

ringa, por lo que representa una alternativa importante como fuente de proteína en la alimentación de rumiantes, principalmente en regiones tropicales donde la época de sequía es prolongada y reduce la disponibilidad y calidad de forraje para el ganado. Además, la moringa es considerada como una planta multipropósito, que favorece al reciclaje de nutrientes, conservación del agua y fertilidad en el suelo. Sin embargo, es necesario desarrollar más investigaciones científicas de su inclusión en la dieta de animales, con la finalidad de corroborar y ampliar la información disponible hasta el momento, ya que este tipo de estudios podría contribuir a reducir la problemática que se presentan en los sistemas de producción animal. Además, se requieren estudios más precisos, por región agroecológica, a fin de determinar mejores épocas y densidades de siembra, periodos y frecuencias de cosecha, manejo agronómico, entre otros.

LITERATURA CITADA

- Abdulkarim S.M., Long K., Lai O.M., Muhammad S.K.S., Ghazali H.M. 2007. Frying quality and stability of high-oleic *Moringa oleifera* seed oil in comparison with other vegetable oils. *Food Chemistry* 105:1382-1389.
- Alfaro V.N.C., Martínez W.W. 2008. Uso potencial de la moringa (*Moringa oleifera* Lam.) para la producción de alimentos nutricionalmente mejorados. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá. Guatemala. 31 p.
- Aregheore E. 2002. Intake and digestibility of *Moringa oleifera*-batiki grass mixture by growing goats. *Small Ruminant Research* 46:23-28.
- Benitez-Bahena Y., Bernal-Hernández A., Cortés-Díaz E., Vera C.G., Carrillo A.F. 2010. Producción de forraje de guaje (*Leucaena* spp.) asociado con zacate (*Brachiaria brizantha*) para ovejas en pastoreo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1: 397-411.
- Cuadrado C.H., Torregroza S.L., Jiménez M.N. 2004. Comparación bajo pastoreo con bovinos machos de ceba de cuatro especies de gramíneas del género *Brachiaria*. *Revista de Medicina Veterinaria y Zootecnia Córdoba* 9: 438-443.
- Duke J.A. 1983. Handbook of energy crops (*Moringa oleifera*). Purdue University, Center for New Crops and Plants Products.
- Falasca S., Bernabé M.A. 2008. Potenciales usos y delimitación del área de cultivo de *Moringa oleifera* en Argentina. *Red de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente* 2:1-16.
- FAO. 2008. Programa de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO): Ganadería. <http://www.fao.org/gender/gender-home/gender-programme/gender-livestock/es/>
- Foidl N., Makkar H.P.S., Becker K. 2001. The potential of *Moringa oleifera* for agricultural and industrial uses. In: Fuglie, L. J. (ed). *The Miracle Tree: The Multiple Attributes of Moringa*. Centre for Agricultural and Rural Cooperation (CTA). Amsterdam, The Netherlands. pp: 45-77.
- Garavito U. 2008. *Moringa oleifera*, alimento ecológico para ganado vacuno, porcino, equino, aves y peces, para alimentación humana, también para producción de etanol y biodiesel. Disponible en: <http://www.engormix.com/MA-avicultura/nutricion/articulos/moringa-oleifera-t1891/141-p0.htm>
- García R.M. 2003. Producción de semillas forestales de especies forrajeras enfatizados en sistemas silvopastoriles. Instituto Nacional Forestal. Nicaragua. 37 p.
- Goel G., Makkar H.P.S. 2012. Methane mitigation from ruminants using tannins and saponins, a status review. *Tropical Animal Health and Production* 44: 729-739.
- Goss M. 2012. A study of the initial establishment of multi-purpose moringa (*Moringa oleifera* Lam) at various plant densities, their effect on biomass accumulation and leaf yield when grown as vegetable. *African Journal of Plant Science* 6: 125-129.
- Hernández G.A., Martínez H.P.A., Mena U.M., Pérez J.J., Enríquez Q.J.F. 2002. Dinámica del rebrote en pasto insurgente (*Brachiaria brizantha* Hochst. Stapf.) pastoreado a diferente asignación en la estación de lluvia. *Técnica Pecuaria en México* 40: 193-205.
- Herrera R.S., García M., Cruz A.M., Romero A. 2013. Relación entre algunos factores climáticos y el rendimiento de seis variedades de pastos. En: ALPA-ACPA (eds). *Memorias del IV*



- Congreso Internacional de Producción Animal Tropical y XXIII Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal. Cuba. pp: 425-428.
- Leng R. 1990. Factors affecting the utilization of 'poor quality' forages by ruminants particularly under tropical conditions. *Nutrition Research Reviews* 44: 277-303.
- Little E.L., Wadsworth F.H. 1964. Common trees of Puerto Rico and Virgin Islands. Department of Agriculture, Forest Service. USA. 548 p.
- Makkar H.P.S., Becker K. 1996. Nutritional value and antinutritional components of whole and ethanol extracted *Moringa oleifera* leaves. *Animal Feed Science Technology* 63: 211-228.
- Makkar H.P.S., Becker K. 1997. Nutrients and antiquality factors in different morphological parts of the *Moringa oleifera* tree. *The Journal of Agricultural Science* 128: 311-322.
- Maydell V.H.J. 1986. Trees and shrubs of the Sahel. Their characteristics and uses. Eschborn, Alemania. 525 p.
- Mendieta-Araica B., Spörndly R., Reyes-Sánchez N., Spörndly E. 2011. *Moringa (Moringa oleifera)* leaf meal as a source of protein in locally produced concentrates for dairy cows fed low protein diets in tropical areas. *Livestock Science* 137: 10-17.
- Morton J.F. 1991. The horseradish tree, *Moringa pterigosperma* (Moringaceae). A boon to arid lands? *Economic Botany* 45: 318-333.
- Moyo B., Masika P.J., Hugo A., Muchenje V. 2011. Nutritional characterization of moringa (*Moringa oleifera* Lam.) leaves. *African Journal of Biotechnology* 10:12925-12933.
- Muhl Q.E., Du Toit E.S., Robbertse P.J. 2011. *Moringa oleifera* (horseradish tree) leaf adaptation to temperature regimes *International Journal of Agricultural Biology* 13: 1021-1024.
- Nouman W., Basra S.M.A., Siddiqui M.T., Yasmeen A., Gull T., Alcaide M.A.C. 2014. Potential of *Moringa oleifera* L. as livestock fodder crop: a review. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 38:1-14.
- Olson M.E. 2002. Combining data from DNA sequences and morphology for a phylogeny of Moringaceae (Brassicales). *Systematic Botany* 27: 55-73.
- Olson M.E. 2010. Moringaceae: Drumstick Family. In: Flora of North America editorial Committee (eds). *Flora of North America North of Mexico*. Flora of North America North Association, New York and Oxford. USA. 7: 167-169.
- Olson M.E., Fahey J.W. 2011. *Moringa oleifera*: un árbol multiusos para las zonas tropicales secas. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82: 1071-1082.
- Olson M.E., Razafimandimbison S.G. 2000. *Moringa hildebrandtii* (Moringaceae): a tree extinct in the wild but preserved by indigenous horticultural practices in Madagascar. *Adansonia* 22: 217-221.
- Padilla C., Fraga N., Suárez M. 2012. Efecto del tiempo de remojo de las semillas de moringa (*Moringa oleifera*) en el comportamiento de la germinación y en indicadores del crecimiento de la planta. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 46: 419-421.
- Padilla C., Fraga N., Scull I., Tuero R., Sarduy L. 2014. Efecto de la altura de corte en indicadores de la producción de forraje de *Moringa oleifera* vc. Plain. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 8: 405-409.
- Palma J.M. 2006. Los sistemas silvopastoriles en el trópico seco mexicano. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal* 14: 95-104.
- Parrotta J.A. 1993. *Moringa oleifera* Lam. Resedá, árbol de rábano. Disponible en: <http://www.moringanews.org/documents/reviewspanish.pdf>
- Paterson R., Karanja G., Roothaert R., Nyaata O., Kariuki I. 1998. A review of tree fodder production and utilization within smallholder agroforestry systems in Kenya. *Agroforestry Systems* 41: 181-199.
- Pinto-Ruiz R., Gómez H., Martínez B., Hernández A., Medina F.J., Gutiérrez R., Escobar E., Vázquez J. 2005. Árboles y arbustos forrajeros del sur de México. *Pastos y Forrajes* 28: 87-97.
- Price M.L. 2000. The Moringa tree. Educational Concerns for Hunger Organization. USA. 19 p.
- Ramachandran C., Peter K.V., Gopalakrishnan P.K. 1980. Drumstick (*Moringa oleifera*): a multipurpose Indian vegetable. *Economic Botany* 34: 276-283.
- Reyes S.N. 2004. Marango: cultivo y utilización en la alimentación animal. Universidad Agraria Nacional. Nicaragua. 23 p.
- Reyes S.N., Ledin S., Ledin I. 2006a. Biomass production and chemical composition of *Moringa oleifera* under different management regimes in Nicaragua. *Agroforestry Systems* 66: 231-242.
- Reyes S.N., Spörndly E., Ledin I. 2006b. Effect of feeding different levels of foliage of *Moringa oleifera* to creole dairy cows on intake, digestibility, milk production and composition. *Livestock Science* 101: 24-31.
- Reyes S.N., Rodríguez R., Mendieta A.B., Mejía S.L., Mora T.A.P. 2009. Efecto de la suplementación con *Moringa oleifera* sobre el comportamiento productivo de ovinos alimentados con una dieta basal de pasto guinea (*Panicum maximum* Jacq.). *La Calera* 9: 60-69.
- Richter N., Siddhuraju P., Becker K. 2003. Evaluation of nutritional quality of *Moringa (Moringa oleifera* Lam.) leaves as an alternative protein source for Nile tilapia. *Aquaculture* 217:599-611.
- Sadeghi S., Rahnavard A., Ashraf Z.Y. 2009. Study importance of sowing date and plant density effect on black cumin (*Cuminum carvi*) yield. *Botany Research International* 2: 94-98.
- Sánchez-Machado D., Núñez-Gastélum J., Reyes-Moreno C., Ramírez-Wong B., López-Cervantes J. 2010. Nutritional quality of edible parts of *Moringa oleifera*. *Food Analytical Methods* 3: 175-180.
- Santiesteban R., Tamayo E., Verdecia P., Estrada J., Diéguez J., Molinet D., Espinosa S., Espinosa A., Cordovi C. 2012. Influencia de la altura y la frecuencia de corte en el rendimiento de *Moringa oleifera*. Instituto de Ciencia Animal. I Taller Nacional de Moringa. Mayabeque, Cuba. 31 Oct.-1 Nov. 2012.
- Sarwatt S.V., Kapange S.S., Kakengi A.M.V. 2002. Substituting sunflower seed-cake with *Moringa oleifera* leaves as a supplemental goat feed in Tanzania. *Agroforestry Systems* 56: 241-247.
- Zheng Y., Zhang Y., Wu J. 2016. Yield and quality of *Moringa oleifera* under different planting densities and cutting heights in southwest China. *Industrial Crops and Products* 91: 88-96.

CANALES Y MÁRGENES DE COMERCIALIZACIÓN DE LA CORTEZA DE CUACHALALATE (*Amphipterygium adstringens* Schiede ex Schlecht.) EN LA CIUDAD DE PUEBLA Y ÁREA CONURBADA

MARKETING CHANNELS AND MARGINS OF THE BARK OF CUACHALALATE (*Amphipterygium adstringens* Schiede ex Schlecht.) IN THE CITY OF PUEBLA AND METROPOLITAN AREA

Osorio-García, A.^{1*}; Macías-López, A.¹; Tornero-Campante, M.A.¹; Loera-Martínez, J.²; Garza-Bueno, L.E.³

¹Colegio de Postgraduados Campus Puebla. Carretera Federal México-Puebla km 125.5, Puebla, Puebla. C. P. 72760. ²Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Económico-Administrativas. Carretera Federal México-Texcoco km 38.5. Chapingo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230. ³Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230.

*Autor para correspondencia: abraham0127@hotmail.com

RESUMEN

El cuachalalate (*Amphipterygium adstringens* Schiede ex Schlecht.) es una especie de la flora medicinal silvestre de México cuya corteza es utilizada para el alivio de alrededor de 30 malestares comunes en la población local, regional, nacional y mundial. Aunque la demanda de este recurso ha ido en aumento en los últimos años, la generación de condiciones para el aprovechamiento de este recurso forestal no-maderable se circunscribe al estado de Morelos, predominando la recolección sin reposición en los estados de Puebla, Guerrero y Oaxaca. Es por ello que en esta investigación se tomó como objeto de estudio al mercado existente de la corteza de cuachalalate en la ciudad de Puebla y su área conurbada, dada su cercanía con uno de los principales sitios de recolección del país (la Mixteca Poblana), con la finalidad de analizar los canales y agentes de comercialización para generar elementos que sirvan para un posterior diseño de estrategias de desarrollo teniendo como base este recurso. Se realizaron encuestas en sus dos modalidades (cuestionario y entrevista semi-estructurada) y observaciones cuyos resultados derivaron en la caracterización de los agentes de comercialización y en la identificación de cuatro canales de comercialización, siendo el principal el de recolector-acopiador-comercializador-consumidor dentro de la zona de estudio.

Palabras clave: Canales de comercialización, cuachalalate, márgenes de comercialización, plantas medicinales, recursos forestales no-maderables.

ABSTRACT

Cuachalalate (*Amphipterygium adstringens* Schiede ex Schlecht.) is a Mexican wild medicinal plant whose bark is used for the relief of around 30 common diseases of the local, regional, national and global population. Although the demand for this non-timber forest resource has been increasing in recent years, the generation of conditions for its use is limited to the state of Morelos, with the collection without replacement prevailing in

Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 2, febrero. 2018. pp: 111-119.

Recibido: noviembre, 2017. **Aceptado:** diciembre, 2017.



the states of Puebla, Guerrero and Oaxaca. This is why in this research the object of study was the existing trade of cuachalalate bark in the city of Puebla and its metropolitan area, given its proximity to one of the main collection sites of the country (the Mixteca Poblana), in order to analyze the marketing channels and agents to generate useful elements for the subsequent design of development strategies based on this resource. Surveys were applied in its two modalities (questionnaire and semi-structured interview), and observations that resulted in the characterization of marketing agents and in the identification of four marketing channels, the main one being the collector-middle man-marketer-consumer channel within the study area.

Key words: Cuachalalate, marketing channels, marketing margins, medicinal plants, non-timber forest resources.

INTRODUCCIÓN

El cuachalalate (*Amphipterygium adstringens* Schiede ex Schlecht.) es considerado dentro de las especies vegetales medicinales silvestres de México debido a sus propiedades astringentes, cicatrizantes, desinflamatorias, diuréticas, hepáticas, estimulantes del sistema digestivo, antibióticas, antitumorales, antiulcerogástricas, anticolesterolemiantes, anticancerígenas e hipoglucemiantes, que la convierten en una planta útil para el alivio de más de 30 malestares comunes de la población en general del país (López *et al.*, 2015; Rodríguez *et al.*, 2015; Rodríguez *et al.*, 2016; Castillo *et al.*, 2007).

Sin embargo, la demanda creciente de este recurso sugiere dos panoramas para las regiones recolectoras en los ámbitos económico, social, cultural y ecológico: 1) la recolección constante y finita del recurso sin reposición, perpetuando el ciclo vicioso pobreza-recolección-pobreza y creando las condiciones para el deterioro ambiental; y 2) la creación, implementación y ejecución de oportunidades que retribuyan al recolector, a su núcleo familiar, a la comunidad y al ambiente a través del manejo y propagación sustentable de éste y otros recursos endémicos que al estar vinculados a la cosmovisión de los pueblos originarios de Mesoamérica, son sujetos de atención y financiamiento de organismos internacionales y nacionales.

Por ello, se hace necesario el análisis del mercado existente en los centros de consumo principales del país, como lo es la ciudad de Puebla y su área conurbada, con la finalidad de identificar elementos de análisis para el posterior diseño de estrategias de desarrollo que permitan a los agentes económicos implicados la toma de decisiones para el mejoramiento de sus procesos de producción y comercialización garantizando la proveeduría de la corteza de manera sustentable y competitiva.

Para tal efecto, se realizaron una serie de entrevistas y observaciones con consumidores de la corteza de cuachalalate en la zona de estudio y con agentes económicos que tienen relación directa con éste, para determinar los canales de la comercialización de este recurso y la importancia que

tiene cada agente económico de acuerdo a la participación que tiene dentro del precio pagado por el consumidor a través del cálculo de los márgenes de comercialización.

MATERIALES Y MÉTODOS

Identificación de agentes y canales de comercialización

A partir de los trabajos de Hersch *et al.* (2003) y Solares *et al.* (2012), se definieron los agentes de comercialización a quienes iría dirigido el estudio de manera principal, para lo cual se recabaron datos a través de la encuesta en sus dos modalidades: cuestionario y entrevista semi-estructurada, utilizando la técnica de bola de nieve puesto que al identificar los lugares de concurrencia donde se podría tener la información fue más práctico entablar el diálogo con los participantes y referencias acerca de otros agentes económicos participantes.

De igual forma se utilizó la técnica de observación participante e informantes clave, lo anterior debido a que los comercializadores y distribuidores no siempre estuvieron en la disposición de contestar o dar la información correcta, pero a través del diálogo se pudo identificar aspectos de las percepciones de los participantes desde la visión exógena (del entrevistador) y la endógena (del entrevistado) que permitiera ir más allá del discurso y descubrir elementos que aportaron en gran medida al estudio del panorama del mercado de cuachalalate y sus matices.

Dentro de las encuestas aplicadas y observaciones hechas durante la fase de campo, se pudieron identificar y caracterizar a los agentes de comercialización participantes

y los referidos por los mismos dentro de los sitios de recolección de la Mixteca Poblana y el centro de consumo de la ciudad de Puebla y área conurbada a partir de los datos proporcionados de variables demográficas, de consumo, de abasto, de comercialización y de transformación de la corteza; con base a la clasificación de Porras (1995).

Asimismo, los canales de comercialización identificados se agruparon de acuerdo al criterio propuesto por Baca (2001) que va en función de la forma de distribución de un bien o servicio.

Cálculo de los márgenes de comercialización

El cálculo de los márgenes de comercialización se hizo utilizando el método propuesto por Caldentey (1966) a partir del cual se pudo determinar la importancia de cada agente económico de acuerdo al porcentaje de participación que tienen dentro del precio pagado por el consumidor final. Para este propósito se calcularon los Márgenes Absolutos, en pesos (\$); los Márgenes Relativos por Eslabón, en porcentaje (%); y los Márgenes Relativos Totales, en porcentaje (%); utilizando las siguientes fórmulas:

$$\text{Margen Absoluto: } MA = P_v - P_c$$

Donde: MA =Margen Absoluto; P_v =Precio de venta de una unidad o del equivalente de una unidad del producto, para este caso precio por kilogramo; P_c =Precio de compra de una unidad o del equivalente de una unidad del producto, para este caso precio por kilogramo.

$$\text{Margen Relativo por Eslabón: } MR = (P_v - P_c) / P_v * 100$$

Donde: MR =Margen Relativo; P_v =Precio de venta de una unidad o del equivalente de una unidad del producto, para este caso precio por kilogramo; P_c =Precio de compra de una unidad o del equivalente de una unidad del producto, para este caso precio por kilogramo.

$$\text{Margen Relativo Total: } MRT = (P_c * 100) / P_f$$

Donde: MRT =Margen Relativo Total; P_c =Precio de compra de una unidad o del equivalente de una unidad del producto, para este caso precio por kilogramo; P_f =Precio de venta final de una unidad o del equivalente de una unidad del producto, para este caso precio por kilogramo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Agentes de Comercialización

En la comercialización de la corteza de cuachalalate, los canales de abasto se dirigen hacia los mercados local, regional, nacional e internacional donde participan diferentes agentes que dan movilidad a la corteza y sus productos derivados más allá de los sitios de recolección y centros de acopio, que a continuación se describen.

Recolector: El recolector es el primer agente con el que comienza la distribución de la corteza en fresco y tiene su actividad un alcance local, aunque algunos recolectores llegan a surtir al menudeo en los mercados regional y nacional. Una vez que el recolector tiene su producto listo, lo lleva directamente con su cliente que puede ser un acopiador, un comercializador o un consumidor. Dentro de las referencias obtenidas por los agentes económicos participantes, se logra identificar dos tipos de recolector:

- 1) **El Recolector Campesino**, es aquel que se vale de la recolección de la corteza de cuachalalate para el autoconsumo o bien para obtener un ingreso alternativo al principal para el sostenimiento de su núcleo familiar. En ocasiones el campesino tiene la opción de vender la corteza ante alguna emergencia o contingencia que afecte al ingreso familiar, por lo que puede considerarse a este recurso como una alternativa de emergencias; y
- 2) **El Recolector Asalariado**, es aquel que es contratado en una cuadrilla de recolección por parte de acopiadores y su ingreso dependerá del precio convenido por kilogramo recolectado por jornada y no necesariamente es campesino u originario de la comunidad recolectora.

Intermediario: Es el recolector o persona sobre quien cae la responsabilidad de compactar, negociar y transportar la oferta de un grupo de recolectores. Con este agente llegan a tener tratos tanto acopiadores como comercializadores instalados en los centros de consumo local, regional y nacional.

Acopiador: El acopiador es el primer enlace entre el recolector y los demás agentes que median con el consumidor final que pueden ser el comercializador, el transformador, los detallistas y en algunos casos con el exportador de corteza en fresco. Este agente se dedica al acopio de plantas medicinales y aromáticas en general

que se cultivan o recolectan en la región donde tiene instalada su bodega, su actividad tiene impacto principalmente a nivel local y regional aunque en algunos casos el impacto es a nivel nacional como sucede con el Mercado de Sonora en la Ciudad de México (Solares et al., 2012).

Comercializador: Es el agente cuyo rango de acción se encuentra a nivel local, regional y nacional. Se trata de comerciantes al menudeo, ambulantes o instalados en los mercados, colonias y centros comerciales a lo largo del país, que ofrecen la corteza en fresco junto con otras plantas medicinales y aromáticas, y en algunos casos también comercializan productos transformados artesanalmente o a través del procesamiento en una planta tecnificada.

En el caso de la región de estudio, se identifican tres tipos de comercializadores según el objetivo de su negocio: 1) **la ganancia a través del intercambio de mercancías** y en algunos casos de la aplicación de conocimiento ancestral; 2) **la ganancia a través del comercio de la fe** de los demandantes; y 3) **la supervivencia** del comercializador y de su núcleo familiar.

El rango de comercialización y la obtención de ganancia varían según el tamaño y experiencia del comercializador porque esta actividad se vincula a una miscelánea diversificada de productos relacionados y el éxito de un negocio no está en función de la venta de un solo producto.

Transformador: Son los laboratorios naturistas y envasadoras que le dan un valor agregado a la corteza

empacándola bajo el sello de una marca o convirtiéndola en pastillas o extractos (Solares et al., 2012). En Puebla hay cuatro empresas transformadoras que utilizan al menos uno de sus productos a la corteza de cuachalalate como materia prima y que tienen un rango de acción y presencia a nivel regional, nacional e internacional como resultado del empleo de agentes intermediarios que colocan los productos en los diferentes centros de consumo, a saber: Flor de Alóe S de SS, Plantamex, Herbomedi[®] y Ocotzol.

Franquicitario: La empresa transformadora genera un esquema de negocio para la colocación de sus productos a lo largo del territorio nacional a través de la venta de franquicias de la marca de la tienda de la empresa transformadora.

Distribuidor: Es el principal agente intermediario del que se valen los transformadores para la colocación de sus productos en los distintos puntos de venta que logran conseguir más allá de los límites del estado donde se encuentra la empresa transformadora.

Tiendas al Detalle: Son los establecimientos que ofrecen una serie de productos alimenticios, cosméticos, naturales y/o medicinales en los centros urbanos y que representan el último enlace de la cadena con el consumidor final (nacional o internacional). Estos establecimientos pueden ser supermercados, farmacias, tiendas naturistas y herbolarias.

Exportador: Son empresas que cuentan con los medios para poder sacar del país la corteza en fresco para venderse a \$1.00 USD en paquetes de 14 gramos (Beltrán y Manzo, 2013), o los productos transfor-

mados a partir de la certificación del cumplimiento de normas y estándares de calidad e inocuidad en producción, envasado, embalaje y transporte que garanticen al consumidor internacional el consumo de productos sanos y genuinos.

Consumidor: Se aprecia que hay consumo de la corteza dentro y fuera del país y se clasifica en función de la distancia que existe entre el centro de consumo y el sitio de recolección en Consumo Local, Consumo Regional, Consumo Nacional y Consumo Internacional. En la zona de estudio se identifican tres tipos de consumidor de la corteza de cuachalalate: 1) **El Consumidor Tradicional**, que es aquel que consume de acuerdo al conocimiento y cultura ancestral, cuyo origen – propio o familiar– se encuentra en las comunidades recolectoras; 2) **El Consumidor por Terapia**, es aquel que consume la corteza y/o maneja el conocimiento de sus propiedades curativas debido generalmente a la prescripción de médicos naturistas y/o terapeutas dada una enfermedad cuya curación no puede (o podía) responder al tratamiento convencional; y 3) **El Consumidor por Estilo de Vida**, es aquel que conoce y consume el cuachalalate en su búsqueda por alternativas naturales, ecológicas alternativas y preventivas para lograr un estilo de vida saludable dada la instrucción que recibió durante la educación básica y/o a la formación recibida en el núcleo familiar sin tener conexiones ancestrales directas con las comunidades recolectoras.

Canales y Márgenes de Comercialización

En la zona de estudio se identificaron cuatro canales de comercialización operantes en la ciudad de

Puebla y área conurbada a saber: 1) Recolector-Acopiador-Comercializador-Consumidor; 2) Recolector-Comercializador-Consumidor; 3) Recolector-Consumidor; y 4) Recolector-Acopiador-Transformador-Consumidor; que a continuación se describen con sus respectivos márgenes.

En el Cuadro 1 se aprecian los Márgenes de Comercialización Absolutos y Relativos del canal Recolector-Acopiador-Comercializador-Consumidor donde el recolector tiene un margen relativo total de 3.59 % o de 5.23 % partiendo de que el precio por kilogramo que recibe del acopiador es de \$10.00.

Mientras que el acopiador obtiene un margen relativo total que oscila entre el 9.68 % y el 27.20 % dependiendo de si el precio de compra le es más benéfico con respecto al precio de venta; y el comercializador tiene un margen relativo total que oscila entre el 67.57 % y el 86.73 %.

En el Cuadro 2 se aprecian los Márgenes de Comercialización Absolutos y Relativos del canal Recolector-Comercializador-Consumidor, donde el jornal de recolección tiene un margen relativo total de 1.70 % o de 2.67 %; mientras que el margen relativo total que obtiene el recolector por la venta de su producto por kilogramo oscila entre el 4.68 % y el 15.33 % y que al sumar con el margen del jornal la participación del recolector oscila entre el 6.39 % y el 18 %.

El Comercializador tiene un margen relativo total que oscila entre el 82.00 % y el 93.61 % obteniendo márgenes iguales o superiores al 90.00 % en las combinaciones Precio Mínimo de Compra-Precio Mínimo de Venta (90.00 %), Precio Mínimo de Compra-Precio Máximo de Venta (93.61 %) y Precio Frecuente de Compra-Precio Máximo de Venta (91.48 %).

Por otra parte, en el Cuadro 3 se aprecian los Márgenes de Comercialización Absolutos y Relativos del canal Recolector-Consumidor calculados a partir de la información obtenida de los consumidores participantes que compran directamente la corteza con recolectores del municipio de Jolalpan, Puebla y dando un valor de \$10.00 al precio pagado al jornal por cada kilogramo recolectado de corteza, mismos que quedan dentro del ingreso del recolector por la venta realizada directamente con el consumidor. Se observa que con un precio de venta de \$240.00 por kilogramo el margen relativo total

del jornal es de 4.17 %, quedando el 95.83 % de margen relativo total para el recolector como producto de la venta de su producto.

Este canal de comercialización es ideal dado que presenta la intervención del recolector en el proceso de acopio y comercialización, eliminando intermediarios paulatinamente e incentivando al mismo en el desarrollo y consolidación de su cadena de valor, es decir, la eliminación de agentes económicos intermediarios en el canal de comercialización no exime de las responsabilidades y costes generados por actividades de acopio, almacenamiento, transporte y distribución.

Finalmente, en el Cuadro 4 se aprecian los Márgenes de Comercialización Absolutos y Relativos del canal Recolector-Acopiador-Transformador-Consumidor que varían entre los transformadores debido a los distintos precios de compra que manejan dada su distancia con el centro de acopio y a la gama de productos que elaboran con la corteza de cuachalalate.

Así, se observa que en el caso del Transformador A, el recolector tiene un margen relativo total de 0.66 %, el acopiador obtiene un margen de 9.58 %; por su parte el transformador, obtiene un margen de 89.76 % producto de la suma del margen del costo de producción promedio de corteza empleada en la transformación (35.24 %) y del margen del precio promedio de venta de los productos elaborados con ese kilogramo de corteza (54.52 %).

En el caso del Transformador B, los márgenes relativos totales son de 1.00 % para el recolector, de 11.0 % para el acopiador y de 88.0 % para el transformador, éste último producto de la suma del margen del costo de producción promedio de corteza empleada en la transformación (38.00 %) y del margen del precio promedio de venta de los productos elaborados con ese kilogramo de corteza (50.00 %).

Finalmente, en el caso del Transformador C se observa que el recolector obtiene un margen relativo total de 1.26 %; mientras que para el acopiador es de 3.77 % y para el transformador es de 94.97 %, este último valor producto de la suma del margen del costo de producción promedio de corteza empleada en la transformación (51.57 %) y del margen del precio promedio de venta de los productos elaborados con ese kilogramo de corteza (43.40 %).

Cuadro 1. Márgenes de Comercialización Absolutos y Relativos del canal Recolector-Acopiador-Comercializador-Consumidor calculados para la zona Mixteca Poblana –Ciudad de Puebla y área conurbada.

	Precio (\$/kg)	Margen Absoluto (\$)	Margen Relativo por Eslabón (%)	Margen Relativo Total (%)
Precio Mínimo de Compra - Precio Mínimo de Venta				
Precio Pagado al Recolector	\$10.00			5.23
Margen del Acopiador		\$27.00	72.97	14.12
Precio de Venta del Acopiador	\$37.00			
Margen del Comercializador		\$154.20	80.65	80.65
Precio de Venta del Comercializador	\$191.20			
Margen Total		\$181.20	94.77	100.00
Precio Mínimo de Compra - Precio Máximo de Venta				
Precio Pagado al Recolector	\$10.00			3.59
Margen del Acopiador		\$27.00	72.97	9.68
Precio de Venta del Acopiador	\$37.00			
Margen del Comercializador		\$241.80	86.73	86.73
Precio de Venta del Comercializador	\$278.80			
Margen Total		\$268.80	96.41	100.00
Precio Máximo de Compra - Precio Mínimo de Venta				
Precio Pagado al Recolector	\$10.00			5.23
Margen del Acopiador		\$52.00	83.87	27.20
Precio de Venta del Acopiador	\$62.00			
Margen del Comercializador		\$129.20	67.57	67.57
Precio de Venta del Comercializador	\$191.20			
Margen Total		\$181.20	94.77	100.00
Precio Máximo de Compra - Precio Máximo de Venta				
Precio Pagado al Recolector	\$10.00			3.59
Margen del Acopiador		\$52.00	83.87	18.65
Precio de Venta del Acopiador	\$62.00			
Margen del Comercializador		\$216.80	77.76	77.76
Precio de Venta del Comercializador	\$278.80			
Margen Total		\$268.80	96.41	100.00
Precio Frecuente de Compra - Precio Mínimo de Venta				
Precio Pagado al Recolector	\$10.00			5.23
Margen del Acopiador		\$42.00	80.77	21.97
Precio de Venta del Acopiador	\$52.00			
Margen del Comercializador		\$139.20	72.80	72.80
Precio de Venta del Comercializador	\$191.20			
Margen Total		\$181.20	94.77	100.00
Precio Frecuente de Compra - Precio Máximo de Venta				
Precio Pagado al Recolector	\$10.00			3.59
Margen del Acopiador		\$42.00	80.77	15.06
Precio de Venta del Acopiador	\$52.00			
Margen del Comercializador		\$226.80	81.35	81.35
Precio de Venta del Comercializador	\$278.80			
Margen Total		\$268.80	96.41	100.00

FUENTE: Elaboración propia con información de los agentes participantes y de Argo Consultores Ambientales (2007).

Cuadro 2. Márgenes de Comercialización Absolutos y Relativos del canal Recolector-Comercializador-Consumidor calculados para la zona Mixteca Poblana –Ciudad de Puebla y área conurbada.

	Precio (\$/kg)	Margen Absoluto (\$)	Margen Relativo por Eslabón (%)	Margen Relativo Total (%)
Precio Mínimo de Compra - Precio Mínimo de Venta				
Precio Pagado al Jornal	\$10.00			2.67
Margen del Recolector		\$27.50	73.33	7.33
Precio de Venta del Recolector	\$37.50			
Margen del Comercializador		\$337.50	90.00	90.00
Precio de Venta del Comercializador	\$375.00			
Margen Total		\$365.00	97.33	100.00
Precio Mínimo de Compra - Precio Máximo de Venta				
Precio Pagado al Jornal	\$10.00			1.70
Margen del Recolector		\$27.50	73.33	4.68
Precio de Venta del Recolector	\$37.50			
Margen del Comercializador		\$549.50	93.61	93.61
Precio de Venta del Comercializador	\$587.00			
Margen Total		\$577.00	98.30	100.00
Precio Máximo de Compra - Precio Mínimo de Venta				
Precio Pagado al Jornal	\$10.00			2.67
Margen del Recolector		\$57.50	85.19	15.33
Precio de Venta del Recolector	\$67.50			
Margen del Comercializador		\$307.50	82.00	82.00
Precio de Venta del Comercializador	\$375.00			
Margen Total		\$365.00	97.33	100.00
Precio Máximo de Compra - Precio Máximo de Venta				
Precio Pagado al Jornal	\$10.00			1.70
Margen del Recolector		\$57.50	85.19	9.80
Precio de Venta del Recolector	\$67.50			
Margen del Comercializador		\$519.50	88.50	88.50
Precio de Venta del Comercializador	\$587.00			
Margen Total		\$577.00	98.30	100.00
Precio Frecuente de Compra - Precio Mínimo de Venta				
Precio Pagado al Jornal	\$10.00			2.67
Margen del Recolector		\$40.00	80.00	10.67
Precio de Venta del Recolector	\$50.00			
Margen del Comercializador		\$325.00	86.67	86.67
Precio de Venta del Comercializador	\$375.00			
Margen Total		\$365.00	97.33	100.00
Precio Frecuente de Compra - Precio Máximo de Venta				
Precio Pagado al Jornal	\$10.00			1.70
Margen del Recolector		\$40.00	80.00	6.81
Precio de Venta del Recolector	\$50.00			
Margen del Comercializador		\$537.00	91.48	91.48
Precio de Venta del Comercializador	\$587.00			
Margen Total		\$577.00	98.30	100.00

FUENTE: Elaboración propia con información de los agentes participantes y de Argo Consultores Ambientales (2007).

Cuadro 3. Márgenes de Comercialización Absolutos y Relativos del canal Recolector-Consumidor calculados para la zona Mixteca Poblana – Ciudad de Puebla y área conurbada.

	Precio (\$/kg)	Margen Absoluto (\$)	Margen Relativo por Eslabón (%)	Margen Relativo Total (%)
Precio de Venta del Recolector en Jolalpan, Puebla				
Precio Pagado al Jornal	\$10.00			4.17
Margen del Recolector		\$230.00	95.83	95.83
Precio de Venta del Recolector	\$240.00			
Margen Total		\$230.00	95.83	100.00

FUENTE: Elaboración propia con información de los agentes participantes y de Argo Consultores Ambientales (2007).

Cuadro 4. Márgenes de Comercialización Absolutos y Relativos de la cadena Recolector-Acopiador-Transformador-Consumidor calculados para la zona Mixteca Poblana – Ciudad de Puebla y área conurbada.

	Precio (\$/kg)	Margen Absoluto (\$)	Margen Relativo por Eslabón (%)	Margen Relativo Total (%)
Precio Frecuente de Compra del Transformador A				
Precio Pagado al Recolector	\$10.00			0.66
Margen del Acopiador		\$145.00	93.55	9.58
Precio de Venta del Acopiador	\$155.00			
Margen del Costo de Producción		\$533.33	77.48	35.24
Costo de Producción	\$688.33			
Margen del Transformador		\$825.00	54.52	54.52
Precio de Venta del Transformador	\$1,513.33			
Margen Total		\$1,508.33	99.67	100.00
Precio Frecuente de Compra del Transformador B				
Precio Pagado al Recolector	\$10.00			1.00
Margen del Acopiador		\$110.00	91.67	11.00
Precio de Venta del Acopiador	\$120.00			
Margen del Costo de Producción		\$380.00	76.00	38.00
Costo de Producción	\$500.00			
Margen del Transformador		\$500.00	50.00	50.00
Precio de Venta del Transformador	\$1,000.00			
Margen Total		\$995.00	99.50	100.00
Precio Frecuente de Compra del Transformador C				
Precio Pagado al Recolector	\$10.00			1.26
Margen del Acopiador		\$30.00	75.00	3.77
Precio de Venta del Acopiador	\$40.00			
Margen del Costo de Producción		\$410.00	91.11	51.57
Costo de Producción	\$450.00			
Margen del Transformador		\$345.00	43.40	43.40
Precio de Venta del Transformador	\$795.00			
Margen Total		\$790.00	99.37	100.00

FUENTE: Elaboración propia con información de los agentes participantes y de Argo Consultores Ambientales (2007).

CONCLUSIONES

Los altos precios de venta de la corteza de cuachalalate constituyen la base económica para implementar una estrategia de desarrollo rural sustentable en la región recolectora de la Mixteca Poblana. Si bien hasta ahora este recurso consiste en ser una caja chica porque es un ingreso secundario para las familias, tiene el potencial para ser una actividad principal dejando de depredar el recurso a través del establecimiento de plantaciones comerciales. Los agentes de comercialización de la corteza de cuachalalate en la ciudad de Puebla y área conurbada se encuentran bien definidos y han desarrollado canales de comercialización que permite la rentabilidad de su actividad a diferentes niveles de mercado, al aprovechar la alta demanda del recurso y la disponibilidad del consumidor final a pagar el precio sugerido tanto por comercializadores de la corteza en su estado natural como por transformadores.

La gobernanza de los canales de comercialización la lleva el agente económico con mayor participación de capital privado invertido en investigación e infraestructura, lo que le permite colocar sus productos en mercados específicos dentro y fuera de los límites locales, regionales y nacionales.

La participación más pequeña en los precios pagados por el consumidor final la lleva el recolector de un recurso silvestre que bien podría involucrarse en las actividades de comercialización y desarrollar su cadena de valor más allá de la venta de materia prima.

LITERTURA CITADA

- Argo Consultores Ambientales. 2007. Estudio Regional Forestal UMAFOR Izúcar de Matamoros. Asociación Regional de Silvicultores de la Mixteca A. C. Puebla, México. 211 p.
- Baca U.G. 2001. Evaluación de Proyectos. McGraw Hill Interamericana Editores. México, D.F. 383 p.
- Beltrán R.L.A., Manzo R.F. 2013. Hersch Martínez Paul. 1996. Destino común: Los recolectores y su flora medicinal. Agricultura, Sociedad y Desarrollo 10(2): 257-260.
- Castillo J.I., Rivero C.F., Celis H., Romero I. 2007. Anti-Helicobacter pylori activity of anacardic acids from *Amphipterygium adstringens*. Journal of Ethnopharmacology 114: 72-77.
- Caldentey A.P. 1966. Los márgenes de comercialización de frutas secas. Revista de Estudios Agrosociales 55: 73-78.
- Hersch M.P., Guerrero B.C., Fierro A.A., Pérez C.A. 2003. La Comercialización de Plantas Medicinales en la Colindancia de Puebla y Guerrero. Instituto Nacional de Antropología e Historia, Serie Patrimonio Vivo 3. México. 15 p.
- López Z., Villarruel M.J., Rico J., Terrazas T., Salazar F. J., Knauth P. 2015. Cytotoxic effects and antimicrobial activity of Cuachalalate (*Amphipterygium adstringens*) extracts as used in a traditional way. Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences 5(2): 1555-1565.
- Porras P.F. 1995. Canales y márgenes de comercialización de plátano (*Musa* sp) en el estado de Tabasco. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Economía Agrícola. México. 89 p.
- Rodríguez C. M., Jimenez R. R., Canales M. M. M., García L. A. J., Rivera Y. N., Nieto Y. O., Ledesma S. Y., Sanchez T. L. E., Rodriguez S. M., Terrazas L. I., Rodriguez M. M. A. 2016. Protective Effect of *Amphipterygium adstringens* Extract on Dextran Sulphate Sodium-Induced Ulcerative Colitis in Mice. Mediators of Inflammation 2016: Article ID 8543561.
- Rodríguez G.A., Peixoto I.T.A., Verde S.M.J., De la Torre Z.S., Aviles A.H., Ruiz A. L. T. G. 2015. *In Vitro* Antimicrobial and Antiproliferative Activity of *Amphipterygium adstringens*. Evidence-Based in Complementary and Alternative Medicine 2015: Article ID 175497.
- Solares A.F., Vázquez A.J.M.P., Gálvez C.M.C. 2012. Canales de comercialización de la corteza de cuachalalate. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 3(12): 29-42.



CAPTURA DE CARBONO EN BIOMASA ÁEREA DE ÁRBOLES DE SOMBRA ASOCIADOS A *Coffea arabica* L. EN EL SOCONUSCO CHIAPAS, MÉXICO

CARBON CAPTURE IN AERIAL BIOMASS OF SHADE TREES ASSOCIATED WITH *Coffea arabica* L. IN SOCONUSCO, CHIAPAS, MEXICO

Salgado-Mora, M.G.^{1*}; Ruiz-Bello, C.¹; Moreno-Martínez, J. L.¹; Irena-Martínez, B.¹; Aguirre-Medina, J.F.¹

¹Universidad Autónoma de Chiapas. Facultad de Ciencias Agrícolas. Campus IV. Entronque Carretera Costera-Pueblo de Huehuetán. Huehuetán, Chiapas. C. P. 30660.

*Autor de correspondencia: msalgadomora@hotmail.com

RESUMEN

La investigación se realizó en dos localidades, Ahuacatlán y Agustín de Iturbide, ambos pertenecen al municipio de Cacaohatán, en la región del Soconusco, Chiapas. El objetivo fue evaluar de manera cuantitativa la capacidad de concentración de carbono en la biomasa aérea en árboles de sombra asociados a *Coffea arabica* L. En cada localidad se identificaron las especies de sombra, la densidad relativa, frecuencia e índice de valor de importancia, altura del árbol, distancia a altura de pecho (DAP), estimación del contenido de carbono y de nitrógeno en madera y hoja. La mayor densidad relativa árboles de sombra se presentó en Ahuacatlán con dominancia de *Terminalia amazonia* (J.F. Gmel) Exell y *Nectandra membranacea* (Sw.) Griseb. En Agustín de Iturbide lo fue *Inga micheliana* Harms. La estimación de la concentración de carbono y biomasa se incrementó en el sitio con dominancia de *T. amazonia* en comparación con *I. micheliana* y presentó diferencia estadística ($P \leq 0.05$). El mayor porcentaje de carbono en todas las especies se encontró en la madera en comparación con la hoja, pero el aumento en el contenido de nitrógeno se registró en las hojas durante la temporada de lluvias.

Palabras clave: Sistemas agroforestales, estructura arbórea, estimación de carbono, contenido de nitrógeno.

Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 2, febrero. 2018, pp. 120-126.

Recibido: junio, 2017. **Aceptado:** diciembre, 2017.

ABSTRACT

The research was carried out in two localities, Ahuacatlán and Agustín de Iturbide, both belonging to the municipality of Cacaohatán, in the region of Soconusco, Chiapas. The objective was to quantitatively evaluate the carbon concentration capacity in the aerial biomass of shade trees associated to *Coffea arabica* L. In each locality the shade species were identified, as well as the relative density, frequency and importance value index, tree height, distance to chest height (DCH), estimation of carbon and nitrogen content in wood and leaf. The highest relative density of shade trees were presented in Ahuacatlán with dominance of *Terminalia amazonia* (J. F. Gmel.) Exell and *Nectandra membranacea* (Sw.) Griseb. In Agustín de Iturbide it was *Inga micheliana* Harms. The estimation of carbon concentration and biomass increased at the dominance site of *T. amazonia* compared to *I. micheliana*, and showed a statistical difference ($P \leq 0.05$). The highest percentage of carbon in all species was found in the wood compared to the leaf, but the increase in nitrogen content was found in the leaves during the rainy season.

Keywords: Agroforestry systems, tree structure, carbon estimation, nitrogen content.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó en los ejidos Ahuacatlán (92° 15' y 670 msnm) en una plantación de 60 años de edad y en Agustín de Iturbide (14° 59' LN y 92° 10' LO y 480 msnm), con plantas de 15-25 años. Ambas pertenecen al municipio de Cacaohatán, Chiapas, México. La investigación se desarrolló durante 12 meses, de febrero de 2010 a enero de 2011. El tipo de clima es cálido-húmedo con lluvias en verano y con influencia de monzón, presenta dos temporadas de secas, una pequeña e intermedia a la mitad de la temporada lluviosa (canícula) y la otra al final de la misma temporada de lluvias (época de secas). El tipo climático según García (1987), es Am (F) (w'') ig. La precipitación pluvial es de 4720 mm anuales y la temperatura media anual de 25.4 °C. El tipo de vegetación es selva alta perennifolia con especies típicas de guayabo volador como *Terminalia amazonia* (J.F. Gmel.) Exell, y otras como *Cedrela odorata* L., *Ficus cotinifolia* Kunth, *F. involuta* (Liebm.) Miq., *Swietenia macrophylla* King, y *Aspidosperma megalocarpum*, Müll. Arg., entre otras. El tipo de suelo en Ahuacatlán pertenece al grupo de los Cambisoles y en Agustín de Iturbide es Andosol (INEGI, 2005). Se realizaron cuatro muestreos en los periodos febrero-abril, abril-junio, junio-septiembre y septiembre-enero.

Arboles de sombra

El cafetal localizado en el ejido Ahuacatlán está asociado a sombra predominante de *Terminalia amazonia* (J.F.Gmel.) Exell (Combretaceae); mientras que, el que se encuentra en el ejido Agustín de Iturbide, con sombra predominante de guagua *Inga micheliana* Harms,

INTRODUCCIÓN

La actividad antrópica en todo el mundo ha influenciado el aumento en la concentración de CO₂ emitido a la atmósfera y en consecuencia se ha incrementado la temperatura ambiental (Huang *et al.*, 2009). Las implicaciones ambientales, sociales y culturales de este fenómeno constituyen una discusión global. El aumento en la concentración de CO₂ se puede regular a través del proceso de la fotosíntesis y en especial por las plantas leñosas presentes en los bosques naturales y cultivados que lo almacenan en sus estructuras (González *et al.*, 2008). En México, los sistemas de producción de *Coffea arabica* L. se desarrollan en ecosistemas ricos en flora y fauna en las vertientes de las cadenas montañosas del centro y sur del país (Moguel y Toledo, 1996), con sombra (Soto-Pinto *et al.*, 2000), o bien, en sistemas de monocultivo expuestos al sol con fuerte dependencia de insumos químicos sintéticos (Aranda, 2004). Los sistemas de producción de café al conservar la cobertura arbórea derivan en diversos beneficios ambientales, además de abrigar amplia diversidad biológica (Aguirre-Cadena *et al.*, 2016). Estos sistemas agroforestales han aportado a la mitigación del cambio climático a través del almacenamiento del carbono en la misma planta de café, además de la captación que ocurre en los árboles de sombra, que son importantes reservas estables de carbono (De Jong *et al.*, 2007). En ambos casos, la capacidad de fijar carbono depende de la densidad de árboles, la edad de los mismos, su diámetro y altura en cada estrato y de la comunidad vegetal (Alegre *et al.*, 2000). Con estos antecedentes se planteó el objetivo de evaluar de manera cuantitativa la capacidad de concentración de carbono en la biomasa aérea en árboles de sombra asociados a *Coffea arabica* L. en dos localidades del Soconusco, Chiapas.

(leguminosas), y *Nectandra membranacea* (Sw.) Griseb (Lauraceae).

Análisis de la estructura arbórea

La unidad experimental en los dos sitios fue de 50x50 m y en la misma se determinaron las especies arbóreas de acuerdo a lo descrito por Pennington y Sarukhán (2000). En los dos sitios se determinaron los parámetros densidad (número de individuos/área muestreada), densidad relativa (densidad por especie/densidad de todas las especiesx100) y frecuencia (número de árboles de la misma especie). Además el índice de valor de importancia según Curtis y MacIntosh (1951) que se refiere al producto de los valores relativos de frecuencia, densidad y dominancia asignado a cada especie.

Variables en los árboles de sombra

En los árboles adultos y jóvenes se registró diámetro a la altura de pecho (DAP) con cinta diamétrica y la altura (Clinómetro electrónico Häglof, Finlandia).

Estimación de carbono y biomasa

La estimación de carbono se derivó según Brown (citado por Rendón y Soto-Pinto, 2007), con base a los datos de la densidad de los árboles. Para calcular biomasa por individuo se utilizó la fórmula propuesta por Chave et al. (2005) que se indica a continuación.

$$Y = \exp(-2.97 + \ln(\rho D^2 h))$$

Dónde: Y=biomasa (kg árbol⁻¹), exp=2.718, ln=logaritmo

natural (base e=2.718), ρ =densidad de los árboles tropicales (0.48 g cm⁻³), D o DAP=diámetro a la altura del pecho (cm) y h=altura (m).

Análisis de contenido de carbono y nitrógeno en madera y hoja

Se determinó el contenido de carbono en hojas y madera (Walkley y Black) y el contenido de nitrógeno (Micro-Kjeldahl). Los tratamientos fueron los dos tipos de sombra de los sitios la sombra predominante en ambos sitios. Se utilizó el diseño completamente al azar para comparar el carbono acumulado por periodo y al final en cada sitio de estudio fue comparada como dos poblaciones independientes mediante la prueba t de Student.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Número de especies e Índice de valor de importancia

En ambos sitios se encontraron 50 individuos, de los cuales 46 eran árboles de sombra y cuatro arbustos pertenecientes a seis familias, ocho géneros y ocho especies. La familia Fabaceae fue el grupo con mayor diversidad, representadas por chalum (*Inga micheliana* Harms) y guagua (*Inga* sp.). También se destaca la presencia de guayabo volador (*T. amazonia* (J.F. Gmel.) Exell) de la familia Combretaceae. Estas especies son ampliamente utilizadas como sombra del cultivo de café en la región (Cuadro 1).

En el Sitio Ahuacatlán se encontró predominancia de *T. amazonia* (J.F. Gmel.) Exell y en el Sitio Agustín de Iturbide

Cuadro 1. Especies de árboles de sombra en dos sistemas agroforestales con *Coffea arabica* L. en el Soconusco, Chiapas, México.

Familia	Especie	Nombre común	Origen	Índice de valor de importancia	
				Densidad relativa	Frecuencia
Sitio Ahuacatlán					
Combretaceae	<i>Terminalia amazonia</i> (J.F. Gmel.) Exell	Guayabo volador	Nativa	57.89	11
Fabaceae	<i>Inga micheliana</i> Harms	Chalum	Nativa	36.80	7
Lauraceae	<i>Nectandra membranacea</i> (Sw.) Griseb.	Tepemixtle	Nativa	5.26	1
Sitio Agustín de Iturbide					
Fabaceae	<i>Inga micheliana</i> Harms	Chalum	Nativa	48.38	15
Bignoniaceae	<i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose	Primavera	Introducida	6.45	2
Agavaceae	<i>Yucca elephantipes</i> Regel ex Trel.	Izote	Nativa	12.90	4
	<i>Nectandra membranacea</i> (Sw.) Griseb.			6.45	2
Fabaceae	<i>Inga</i> sp	Guagua	Nativa	6.12	5
Rutaceae	<i>Citrus nobilis</i> Lour.	Mandarina	Introducida		
Lauraceae	<i>Persea americana</i> Mill.	Aguacate	Introducida	3.22	1

se presentó mayor diversidad de árboles de sombra con dominancia de las especies del género *Inga*, y la más frecuente *I. micheliana* Harms, asociada además con árboles frutales como aguacate (*Persea americana* Mill.), mandarina (*Citrus nobilis* Lour.) y maderables como *Tabebuia donnell-smithii* R. Miranda (1998) reporta que la vegetación original de la región del Soconusco corresponde a una selva alta perennifolia con número elevado de especies arbóreas, sin que algunas de ellas muestren un predominio definitivo. La estructura arbórea en los sistemas de producción de café es diversa. Así, Goldberg y Jiménez (1980), describen tres estratos, uno con *Inga leptoloba* Schlecht., otro con *Inga jinicuil* Schltl. como árboles de sombra, y un tercer estrato intercalado con árboles frutales de plátano y naranjo.

En relación a la densidad de árboles por hectárea, se encontraron 76 en Ahuacatlán y 108 árboles en Agustín de Iturbide. Este hecho define la alta densidad de árboles en los sistemas de sombra múltiple, en contraste con los sistemas de sombra específica. En el norte de Chiapas, Romero *et al.* (2002) citan densidad de arbórea de 282 ± 159 árboles por hectárea en sistemas agroforestales con café bajo sombra de *Inga* sp y en cafetales con sombra de especies múltiples la densidad va de 457 ± 257 de árboles de sombra por hectárea. La riqueza de especies en 100 m^2 fue de 1.6 ± 0.7 y 3 ± 1 . En cafetales tradicionales bajo sombra en el Soconusco Chiapas, México, Soto-Pinto *et al.* (2002) encontraron en promedio 2.6 estratos de sombra. La riqueza de especies de sombra fue 3.5 y un rango de 1 a 8 especies en 100 m^2 . El índice de diversidad de 3.5 con un mínimo de 0 y un máximo de 6.72 en 100 m^2 . En cambio, en el norte de Chiapas, se cita densidad promedio de 371.4 árboles ha^{-1} y se nota la importancia de los agrosistemas de cafetal bajo sombra como hábitat para la fauna asociada (Soto-Pinto *et al.*, 2001). En otras regiones del país, en fincas cafetaleras activas y abandonadas (10-20 años) la riqueza promedio de árboles va de 51 a 61 especies de árboles en 4000 m^2

con distribuciones espaciales agregadas (López y Williams, 2006).

Altura y DAP de los árboles adultos y juveniles

La altura y el DAP de los árboles de sombra, adultos y juveniles de *T. amazonia* en el sitio Ahuacatlán fue en promedio de 15.34 m de altura y de 100.99 cm, respectivamente. En el sitio Agustín de Iturbide, el DAP promedio fue de 32.86 a 34.01 cm y se registró una altura de 9.91 m en árboles de especies del género *Inga* sp.

Los promedios de alturas y DAP en Ahuacatlán fueron mayores y no presentaron diferencias entre los periodos de muestreo. En este sistema de producción se informó que los árboles de *T. amazonia* tenían 60 años de edad. En cambio, en el sitio Agustín de Iturbide, los árboles en crecimiento de *Inga* sp. e *I. micheliana* Harms, tenían edad entre 15 -25 años con pequeñas diferencias numéricas entre los periodos de evaluación.

Carbono acumulado y biomasa

Durante los cuatro periodos de muestreo, en Ahuacatlán no hubo incremento significativo del almacenamiento de carbono, mientras que, en Agustín de Iturbide, se presentó incremento gradual durante los cuatro periodos (Figura 1).

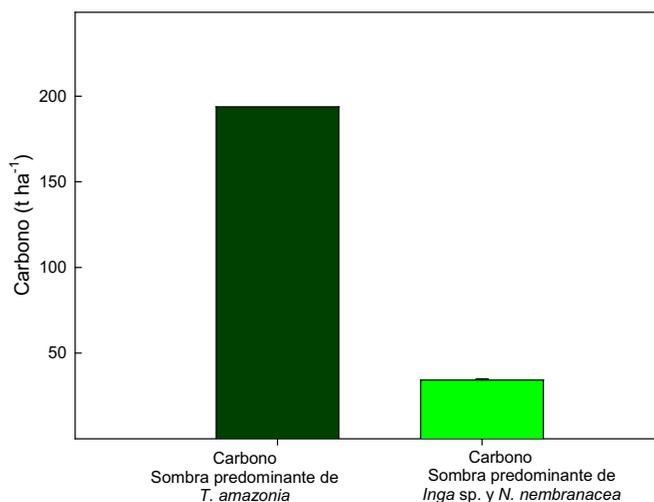


Figura 1. Carbono acumulado en dos sistemas agroforestales de café con sombra. Los valores son promedios de cuatro repeticiones \pm error estándar.

Esto puede deberse al aumento en la dinámica de crecimiento de las especies de ese sitio. En *Bambusa oldhamii*, Castañeda *et al.* (2005) citan resultados semejantes con el aumento gradual de la biomasa con la edad de la plantación mediante el incremento del diámetro del tallo, además de la acumulación de carbono. En cambio en Ahuacatlán, los árboles de *T. amazonia*, habían alcanzado su máximo crecimiento.

En El Salvador los sistemas agroforestales con café presentan valores de almacenamiento de carbono que van de 101 t ha^{-1} en sistema tradicional a 196 en bosque (De Melo y Abarca, 2008). Estos resultados se asemejan al sistema de café con sombra predominante de *T. amazonia* en el sitio Ahuacatlán.

En la Amazonía Peruana en un sistema de café con sombra, Callo-Concha *et al.* (2002) citan fijación de carbono de 45.4 t ha⁻¹. En el sur de Costa Rica, De Miguel *et al.* (2004) al comparar una plantación a pleno sol de café y otra con sombra de *Eucalyptus deglupta*, citan aumento de 17 t ha⁻¹ de almacenamiento de carbono en la fitomasa por encima del suelo. En Veracruz, México, Espinoza-Domínguez *et al.* (2012) estudiaron el contenido de carbono en diversos sistemas agroforestales asociados con frutales, maderables y pastoreo de ovinos en comparación con un bosque primario y una pradera. El sistema agroforestal con mayor carbono aéreo fue el café-cedro con 114 t C ha⁻¹.

En otros casos, Lapeyre *et al.* (2009) cuantificaron el contenido de carbono en un sistema agroforestal con cacao asociado a especies forestales de 15 años y encontraron 47.2 t C ha⁻¹ de los cuales, 0.028 t C ha⁻¹ correspondieron al componente herbáceo y 5.07 t C ha⁻¹ a mantillo. Estos mismos autores evaluaron las mismas variables en un sistema agroforestal de café-guaba (*Inga edulis*) de cuatro años y encontraron 19.3 t C ha⁻¹, de las cuales, 0.027 t C ha⁻¹ corresponden al componente herbáceo y 3.98 t C ha⁻¹ al mantillo.

La biomasa total acumulada en los sitios presenta mayor incremento en Ahuacatlán con la presencia dominante de *T. amazonica*, en comparación al sitio Agustín de Iturbide con especies de tamaño mediano y menor edad.

Concha *et al.* (2007) evaluaron la biomasa aérea en seis diferentes sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) asociado con especies forestales maderables

y frutales en Perú y encontraron la captura de carbono en cada sistema agroforestal varió de 26.2 t C ha⁻¹ en la plantación de cinco años, a 45.07 t C ha⁻¹ en la de 12 años.

De acuerdo con las comparaciones por parcelas independientes, muestra que en los cuatro periodos en el Sitio Ahuacatlán, la media fue de 17.6218 y se mantuvo con esa misma cantidad de media durante los cuatro periodos. El Sitio Agustín de Iturbide los valores promedio aumentaron gradualmente en cada periodo (Cuadro 3).

El carbono acumulado presentó diferencias estadísticas significativas (p≤0.05). El incremento más alto de carbono se presentó en Ahuacatlán.

Porcentaje de carbono en hoja y madera

El carbono acumulado en la biomasa viva de ambos sitios se incrementó en la madera. En Ahuacatlán, la acumulación de carbono en la madera fue 47.8 %; en las hojas de *T. amazonia* fue de 39.8 %. En Agustín de Iturbide, en la madera de *Inga* sp. la acumulación de carbono representó el 50.1 % y en la hoja 39.8 %.

En *Inga micheliana* Harms la proporción de carbono en la hoja fue de 38.6 % y en la madera de 47.4 %; mientras que, en *N. membranacea* (Sw.) Griseb, en hoja fue de 39.4 % y en madera de 49.3 % (Figura 2).

En el Sur de Camerún, Sonwa (2004), estudió la acumulación de carbono en un sistema agroforestal con cacao y demostró que almacena en promedio 243 mg de carbono al año. Además encontró, que la asociación de las

Cuadro 2. Estadístico de prueba t de Student, comparación de medias por parcelas independientes.

Sitio	Febrero-abril	Abril-junio	Junio-septiembre	Septiembre-enero	Total de carbono acumulado
	*t=7.0144	t=6.9814	t=6.9471	t=6.9068	t=6.9629
Ahuacatlán	(α=0.05, gl=30)=2.042	(α=0.05, gl=30)=2.042	(α=0.05, gl=30)=2.042	α=0.05, gl=30)=2.042	(α=0.05, gl=30)=2.042
Agustín de Iturbide	(α=0.01, gl=30)=2.750	α=0.01, gl=30)=2.750	α=0.01, gl=30)=2.750	α=0.01, gl=30)=2.750	α=0.01, gl=30)=2.750

t-Student, **gl= grados de libertad.

Cuadro 3. Comparación de medias del carbono acumulado (t ha⁻¹) por sitio y periodo de evaluación.

Sitio	Febrero-abril	Abril-junio	Junio-septiembre	Septiembre-enero	Promedio
Ahuacatlán	17.62 a*	17.62 a	17.62 a	17.62 a	17.62 a
Agustín de Iturbide	1.56 b	1.60 b	1.65 b	1.70 b	1.63 b

*Las letras diferentes entre las columnas indican diferencia estadística significativa según Tukey (p≤0.05). Los valores son promedios de 12 repeticiones.

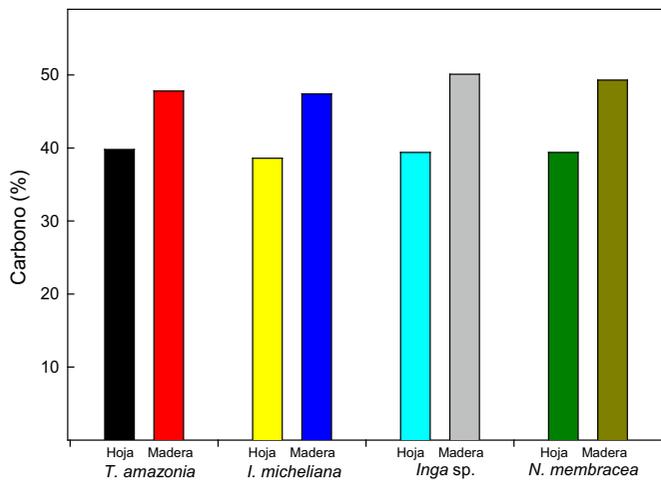


Figura 2. Contenido de carbono en hoja y madera de las especies de sombra presentes en dos sistemas agroforestales en el Soconusco, Chiapas.

plantas con el cacao representó el 70 % de almacenamiento de carbono, mientras que los árboles de cacao representaron 15 %. Las especies de árboles asociadas, *T. superba* Engels. & Diels (Combretaceae), contribuyen en gran medida al almacenamiento de carbono. Resultados semejantes se encontraron en el presente estudio con un miembro de la misma familia.

Contenido mineral de la hoja y madera

En las hojas de las cuatro especies evaluadas se incrementó el contenido de N, durante los dos primeros periodos de evaluación, que correspondieron a los meses de febrero a junio. Sin embargo, la mayor cantidad de este nutrimento se presentó en *N. membranacea* (Sw.) Griseb. en el segundo periodo de abril a junio.

En la madera, el mayor contenido de N de las cuatro especies se presentó en el periodo cuatro, de septiembre a enero y la mayor acumulación fue en *I. micheliana* (Figura 3).

CONCLUSIONES

Los sistemas agroforestales para la producción de café presentan diversas especies de sombra con dominancia de las familias Fabaceae y Combretaceae.

Se incrementó el carbono acumulado en la biomasa aérea en el sistema de café con sombra predominante de *Terminalia amazonia* (J.F. Gmel.) Exell.

El aumento en el contenido de nitrógeno en las especies de sombra de los dos sistemas agroforestales está influenciado por la época de lluvias.

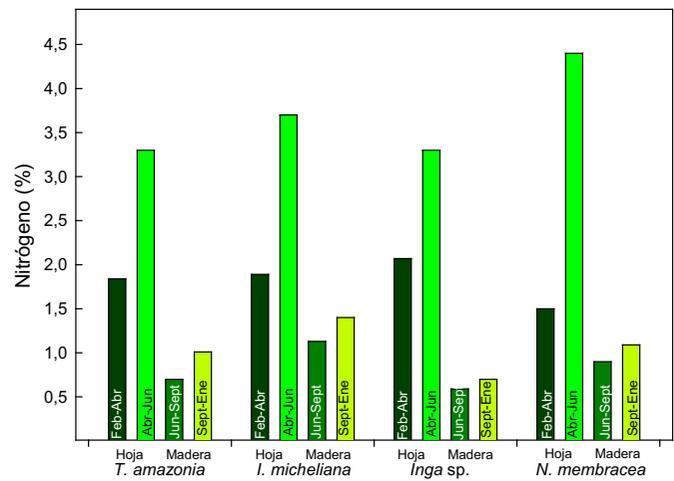


Figura 3. Contenido de nitrógeno en madera y hoja de las especies dominantes de sombra asociadas a *Coffea arabica* L.

LITERATURA CITADA

- Aguirre-Cadena J.F., Cadena Iñiguez J., Ramirez Valverde B., Trejo-Téllez B.I., Juárez Sánchez J.P., Morales-Flores F.J. 2016. Diversificación de cultivos en fincas cafetaleras como estrategia de desarrollo. Caso de Amatlán. Acta Universitaria 26: 30-38.
- Alegre J., Ricse A., Arévalo L., Barbarán J., Palm C. 2000. Reservas de carbono en diferentes sistemas de uso de la tierra en la Amazonia Peruana. Consorcio para el Desarrollo Sostenible de Ucayali (CODESU). Boletín informativo 12: 8-9.
- Aranda J. 2004. El sistema campesino-indígena de producción de café: <http://www.jornada.unam.mx/2004/08/30/eco-c.html>
- Callo Concha D., Krishnamurthy L., Alegre J. 2002. Secuestro de carbono por sistemas agroforestales amazónicos. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 8:101-106.
- Castañeda M.A., Vargas H.J., Gómez G.A., Valdez H.J., Vaquera H.H. 2005. Acumulación de carbono en la biomasa aérea de una plantación de *Bambusa oldhamii*. Agrociencia 39:107-116.
- Chave J., Andalo C., Brown S., Cairns M.A., Chambers J.Q., Eamus D., Folster H., Fromard F., Higuchi N., Kira T., Lescure J.P., Nelson B.W., Ogawa H., Puig H., Riera B., Yamakura T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. Oecologia 145: 87-99.
- Concha J.Y., Alegre J.C., Pocomucha V. 2007. Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L. en el departamento de San Martín, Perú. Ecología Aplicada 6: 1-8.
- Curtis, J.T., McIntosh R.P. 1951. An upland forest continuum in the prairie- forest border region of Wisconsin. Ecology 32: 476-496.
- De Jong B., Jiménez F.G., Soto P.L. 2007. Agroforestería y secuestro de carbono, Agroforestería Pecuaria en Chiapas, México. pp. 9-31.
- De Melo V.F.E., Abarca S.M. 2008. Cafetales para servicios ecosistémicos. El caso de cooperativas cafetaleras afiliadas a COOCAFE. CATIE-FUNACAFOR-COCCAFAE-OIKOCREDI. Costa Rica. 61 p.
- De Miguel M.S., Harmand J.M., Hergoualc'h, K. 2004. Cuantificación del carbono almacenado en la biomasa aérea y el mantillo en sistemas agroforestales de café en el suroeste de Costa Rica. Agroforestería en las Américas 41-42: 98-104.

- Espinoza-Domínguez W., Krishnamurthy L., Vázquez-Alarcón A., Torres- Rivera, A. 2012. Almacén de carbono en sistemas agroforestales con café. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 18: 57-70.
- García E. 1987. Modificaciones del sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª Edición. INEGI. México. 217 p.
- Goldberg A.D., Jiménez E.A. 1980. Distribución de la biomasa aérea en diferentes estratos del cafetal. *In: Estudios ecológicos en el agroecosistema cafetalero*. Ed. Instituto Nacional de Investigaciones Sobre Recursos Bióticos, México. pp. 55-63.
- González P., Hassan R., Lakada P., McCallum I., Nilson S., Pulhin J., van Rosenburg B., Scholes B. 2008. Forest and woodland systems: Chapter 21. pp. 587-614. Recuperado el 12 de febrero 2013, de <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.290.aspx.pdf>.
- Huang Y., Yu Y., Zhang W., Sun W., Liu S., Jiang J., Wu J., Yu W., Wang Y., Yang Z. 2009. Agro C: A biogeophysical model for simulating the carbon budget of agroecosystems. *Agricultural and Forest Meteorology* 149: 106-129.
- INEGI. 2005. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2005. Marco Geoestadístico Municipal, versión 3.1. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Consultado el 1 de marzo del 2017. en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/21/21158.pdf>
- Lapeyre T., Alegre J., Arévalo I. 2009. Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. *Biología Aplicada* 3: 35-44.
- López G.A.M., Williams L.G. 2006. Evaluación de métodos no paramétricos para la estimación de riqueza de especies de plantas leñosas en cafetales. *Boletín de la Sociedad de Botánica de México*. No. 78. Sociedad Botánica de México, A. C. México, D. F. pp. 7-15.
- Miranda F. 1998. La vegetación de Chiapas, Tercera Ed. Consejo Estatal Para la Cultura y las Artes de Chiapas, México.
- Moguel P., Toledo. V.M. 1996. El café en México, ecología, cultura indígena y sustentabilidad. *Ciencias* 43: 40-51.
- Pennington T.D., Sarukhán J. 2000. Árboles Tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies. 3ª Edición. Universidad Nacional Autónoma de México. Fondo de Cultura Económica. 523 p.
- Rendón C., Soto-Pinto L. 2007. Metodología rápida para la estimación y monitoreo de carbono, El Colegio de la Frontera Sur. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACYT. México. 47 p.
- Romero A.Y., Soto-Pinto L., García L.B., Barrera G.F. 2002. Coffee yield and soil nutrients under the shade of *Inga* sp. vs. multiple species in Chiapas, México. *Agroforestry Systems* 54: 215-224.
- Sonwa D.J. 2004. Biomass management and diversification within cocoa agroforest in the humid forest zone of Southern Cameroon. Cuvillier Verlag, Göttingen. pp. 76-80
- Soto-Pinto L., Perfecto I., Castillo- Hernández J., Caballero- Nieto J. 2000. Shade effect on coffee production at the northern Tzeltal Zone of the state of Chiapas, Mexico. *Agriculture Ecosystems and Environment* 80: 61-69.
- Soto-Pinto L., Romero Y.A., Caballero J.N., Segura G.W. 2001. Woody plant diversity and structure of shade- grown- coffee plantations in Northern Chiapas, Mexico. *Revista de Biología Tropical* 49: 901-911.
- Soto-Pinto L., Perfecto I., Caballero N.J. 2002. Shade over coffee: its effects on Berry borer, leaf rust and spontaneous herb in Chiapas, México. *Agroforestry Systems* 55: 37-45.



CONOCIMIENTO Y POTENCIAL DE USO DE PLANTAS MEDICINALES EN ESTUDIANTES DE PRIMARIA EN EL ESTADO DE CAMPECHE

KNOWLEDGE AND POTENTIAL OF MEDICINAL PLANT USE IN ELEMENTARY SCHOOL STUDENTS IN THE STATE OF CAMPECHE

Verdel Aranda, K.¹; Carmona Arellano, M.A.¹; Mancilla, G.¹; Arreola Enríquez, J.¹

¹Colegio de Postgraduados Campus Campeche, km 17.5 Carretera Federal Hattunchén-Edzná, Sihochac, Champotón, Campeche, México. C. P. 24085.

*Autor de correspondencia: jarreola@colpos.mx

RESUMEN

El trabajo tuvo por objetivo valorar el nivel de conocimiento que tienen estudiantes de escuelas primarias sobre la existencia de plantas medicinales, la relación entre estas plantas y su salud, así como el interés que tienen por el uso de estas plantas. Se visitó una escuela primaria por cada Municipio del estado de Campeche. Se realizaron 15 cursos-talleres a una población de 398 estudiantes de 4° a 6° grado, con edades entre 8 y 13 años. Para la obtención de datos se aplicaron durante los talleres tres instrumentos: una evaluación diagnóstica, una evaluación intermedia y una evaluación final. Los datos se analizaron con estadísticos descriptivos. En los resultados se destaca que existe un alto porcentaje de los estudiantes que tienen conocimiento de las plantas y medicina tradicional, principalmente a través de sus familiares, donde la participación de la abuela es de gran importancia. Asimismo, se fortaleció la importancia del cuidado de los recursos naturales endémicos del estado y la reflexión sobre la prevención, cuidado y cura de la salud humana, vía utilización de plantas medicinales versus malos hábitos alimenticios y su derivación en enfermedades crónicas y mortales de las personas.

Palabras clave: Plantas medicinales, medicina tradicional, niños de primaria.

ABSTRACT

The aim of this work was to assess the level of knowledge that students of elementary school have about the existence of medicinal plants, the relationship between these plants and their health, as well as the interest they have in the use of these plants. We visited one elementary school in each municipality of the State of Campeche. Fifteen workshops were carried out with a population of 398 students in 4th to 6th grade, between 8 and 13 years old. Three instruments

Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 2, febrero. 2018. pp: 127-134.

Recibido: agosto, 2017. **Aceptado:** diciembre, 2017.

were applied during the workshops in order to obtain data: a diagnostic evaluation, an intermediate evaluation and a final evaluation. Data were analyzed using descriptive statistics. The results highlight the high percentage of students who have knowledge of plants and traditional medicine, mainly obtained through their families, where the participation of grandmothers is of great importance. Likewise, the importance of taking care of the endemic natural resources in the state was strengthened, as well as raising awareness about the prevention, care and healing of human health through the use of medicinal plants versus bad eating habits and their derivation into chronic and fatal diseases for people.

Keywords: Medicinal plants, traditional medicine, elementary school children.

INTRODUCCIÓN

La utilización de plantas para prevención, atención y cura de enfermedades es una práctica ancestral que aún se ejerce en diversas localidades del estado de Campeche. El conocimiento que ha pasado de padres a hijos durante cientos de años es un activo que está en peligro de extinción. Los conocimientos sobre medicinas alternativas, entre las que figura el uso de las plantas medicinales (herbolaria), se han ido perdiendo con el paso del tiempo generacional, la modernidad y el industrialismo. Durante el proceso de entrevistas se captó, como factor común, el interés de los médicos tradicionales por transmitir sus saberes a generaciones más jóvenes para que no se pierdan. Otro factor que se adiciona a lo anterior, es la creciente dependencia de la población a la medicina alopática, industrial o farmacéutica, que ha ido relegando a la medicina tra-

dicional y a la herbolaria regional; siendo que existen numerosas referencias bibliográficas (revisiones: Caporale, 1995; Yuliana, 2011; Gad, 2013) que indican que la industria farmacéutica basa sus principios activos en los contenidos fitoquímicos de la flora y en otras muchas moléculas y metabolitos de la biodiversidad, sobre todo de los ecosistemas tropicales.

Por otra parte, ha habido una erosión de la biodiversidad en varias regiones del estado de Campeche, y en particular de la región de los Chenes, Hopelchén, lo que se refleja en altos índices de deforestación, incendios forestales y cambio de uso de suelo, mismos que a su vez generan la pérdida (extinción) de especies vegetales y de otras especies biológicas, erosión y declive genético (Rendón von Osten, 2010). Por tal motivo, investigadores del Campus Campeche del Colegio de Postgraduados se dieron a la tarea de recuperar dichos saberes, a través del proyecto "Retroalimentación y rescate de saberes tradicionales sobre las plantas medicinales de la región de los Chenes, Hopelchén, Campeche" (Figura 1), apoyado por el Consejo Estatal de

Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico de Campeche (COESICYDET) y la colaboración de personal de la Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (CDI), Coordinación Regional en Hopelchén.

Este esfuerzo pretendió conservar y utilizar el conocimiento ancestral y tradicional, sobre el uso medicinal de la flora, de las comunidades rurales del estado de Campeche, y retroalimentar dichos saberes con base en conocimiento científico y socializarlo entre la población de edades tempranas, como los son

los niños y niñas de nivel escolar básico (primaria).

Se realizaron entrevistas a 21 médicos tradicionales de la región de los Chenes del estado de Campeche, se colectaron e identificaron 100 especies de plantas de la región, y se documentó el uso de cada una de ellas, en

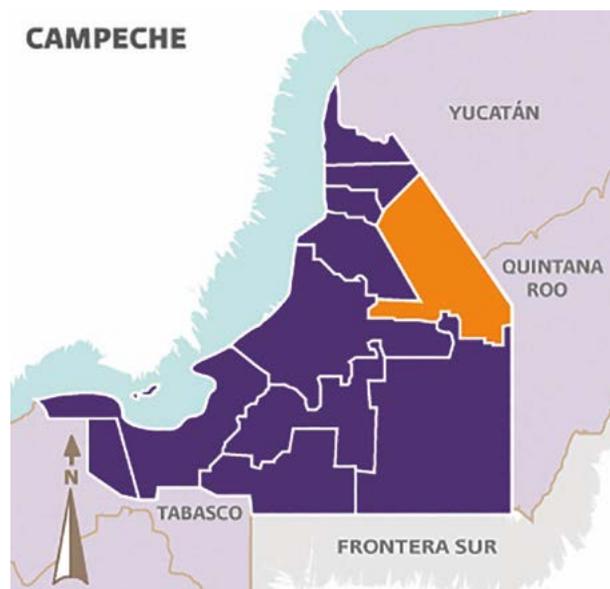


Figura 1. Ubicación geográfica de Hopelchén en el estado de Campeche donde se realizaron las entrevistas, colecta y recolección de datos de plantas medicinales con los médicos indígenas tradicionales (MIT).

la atención de enfermedades de la población local (resultados sin publicar).

Producto de este estudio se planeó la realización de talleres participativos con estudiantes de educación básica, específicamente primaria, con la finalidad de divulgar en la población escolar infantil del estado de Campeche el conocimiento sobre el uso de las plantas medicinales.

Plantas medicinales

Las plantas medicinales son aquellas que dadas sus propiedades químicas y composición pueden ejercer soluciones curativas para distintas afecciones de los seres humanos. El uso de dichas plantas medicinales data de tiempos ancestrales y no se limita a ciertas culturas, sino que los registros indican que su uso y conocimiento se distribuye en diferentes regiones geográficas (Chevalier, 1997; Rojas Alba, 2009). En este proyecto en particular se enfocó en la región de los Chenes, ubicada en el municipio de Hopelchén en el estado de Campeche (Figura 1) dados los antecedentes del gran número e importancia de los médicos indígenas tradicionales (MIT) que habitan esta zona y que aún aplican estos conocimientos. Existen alrededor de 37 MIT en la zona de los Chenes, quienes dedican parte de su tiempo al uso, cuidado y en menor medida a la transmisión del conocimiento de las plantas para aliviar padecimiento; ellos también son conocidos como hierbateros o curanderos.

La medicina tradicional se practica sobre todo en las zonas rurales en donde el acceso a la medicina occidental o alopática es limitado, sin embargo, la principal preocupación que surge y que es uno de los fundamentos de este artículo y del proyecto que hay detrás de él, es que la pérdida de este conocimiento ancestral se acelera cada vez más, por lo cual se destaca la importancia de sensibilizar a la población de la región desde edades tempranas.

En general, se hace frente a una serie de factores que hacen difícil la introducción de la medicina tradicional en el esquema sanitario de cualquier país, pero justamente se trata de aprovechar todo ese bagaje comprobado a lo largo de los milenios, siendo los países orientales quienes tienen dichas prácticas más arraigadas y de eficacia comprobada. Si bien la OMS ha formulado y publicado la "Estrategia sobre Medicina Tradicional" con los miembros participantes, y siendo México uno de ellos, su estrategia particular con nuestro país no incluye este

tipo de medicina tradicional, sino únicamente está enfocada hacia el tratamiento institucional alopático que incluye tratamientos, prevención, difusión y obtención de tecnologías y medicamentos para la población (OMS, 2013; OMS, 2015).

Esto se suma a otras causas que influyen en la pérdida del conocimiento de las plantas medicinales como la falta de interés en las generaciones más jóvenes, el uso cada vez más extendido de medicina alopática y la pérdida de algunas plantas en cierta medida.

Sin embargo, hay factores que influyen de manera positiva en la trasmisión y preservación del conocimiento entre ellos el factor económico, ya que las consultas médicas particulares representan un gasto importante para quienes no cuentan con seguro médico o el acceso a éste es limitado, mientras que las consultas y los remedios otorgados por los MIT son de bajo costo y fácil acceso. También las mujeres de la familia influyen de manera positiva en la transmisión del conocimiento sobre todo por el interés de cultivar plantas en casa y su papel fundamental para preservar la salud de su núcleo familiar (Alberti-Manzanares, P. 2006 y Acosta de la Luz, L. 2001).

OBJETIVOS Y SUPUESTO

General: Sensibilizar a los niños de las escuelas primarias de los municipios del estado de Campeche sobre la importancia, pertinencia y perspectivas del uso de las plantas medicinales; conservar y utilizar el conocimiento ancestral y tradicional sobre el uso medicinal de la flora de las comunidades rurales que habitan en el estado de Campeche; y sobre el uso sustentable de los recursos naturales de la biodiversidad del estado de Campeche.

Objetivos específicos

- Dar a conocer a los estudiantes la importancia y el potencial del uso de plantas medicinales en la salud humana.
- Identificar el nivel de conocimiento que tienen los estudiantes y sus familiares sobre el uso de plantas medicinales.
- Fomentar en los estudiantes la conservación de los saberes ancestrales y las vocaciones de médicos tradicionales.
- Retroalimentar el conocimiento local sobre plantas alimenticias y medicinales e incidir en el cuidado y conservación de los recursos fitogenéticos de la región y el Estado.

- Generar un espacio de reflexión sobre la importancia de cuidar la alimentación y en consecuencia, de la salud, como pilares del bienestar integral de las personas y de la población en general.

Supuesto: El conocimiento presentado a los estudiantes de primaria influirá en su percepción sobre las plantas medicinales, de la medicina tradicional, del cuidado de su salud a través del cambio de hábitos y la utilización de plantas benéficas; así como del cuidado del recurso fitogenético local.

METODOLOGÍA

Tipo de investigación: Estudio de caso no experimental, con información descriptiva.

Población: Con base en los datos estadísticos del Sistema Nacional de Información Estadística de la Secretaría de Educación Pública (SEP, 2016), para el ciclo escolar 2016-2017, el estado de Campeche cuenta con una matrícula de 102,957 niños y niñas en primaria, 4,378 Docentes en 790 escuelas y 5,743 grupos. Para la realización de los talleres se seleccionaron 11 escuelas Primarias, una por cada municipio del estado de Campeche.

Diseño del taller: Con base en la Taxonomía de Bloom sobre los objetivos del aprendizaje (Bloom, 1973), se diseñó un taller que trabajara las dimensiones cognoscitiva, psicomotora y afectiva de los alumnos. Con base en el enfoque por competencias, se fortalecieron los saberes de la persona: saber, saber hacer y saber ser (Comisión Europea, 2006). De tal manera que el taller integró elementos que facilitarían y motivarían el aprendizaje:

- Para la dimensión cognoscitiva se utilizó una presentación Power Point sobre antecedentes, orígenes y tipos de plantas, su beneficio en la salud, y la importancia de considerar la dosis. Se apoyó el aprendizaje con la presentación de diversas especies de plantas en vivo, donde se incluyó la planta de estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) como sustituto de la utilización de azúcar refinada, que incide directamente en la obesidad infantil y deriva, entre otras enfermedades, en diabetes mellitus tipo II.
- Para la dimensión psicomotora se diseñó una práctica en equipos de 5 alumnos para que, con base en la observación de la expresión facial de cada compañero(a), se identificara el gusto de

cada integrante de equipo al tomar una bebida (jamaica, tamarindo, zacate limón) sin endulzar como un primer ejercicio, y como segundo ejercicio endulzando las bebidas con dosis de 1, 5 y 10 gotas de concentrado de estevia. Plasmando el resultado en la escala de evaluación aplicable en pruebas de aceptación para alimentación escolar, que se adaptó a esta prueba (Da Cunha, 2013).

- Para la dimensión afectiva se utilizó como vehículo para el ejercicio de reflexión un vídeo sobre el consumo indiscriminado de refrescos y su impacto en la salud, titulado "Osos reales" ("The real bears"). Con este ejemplo se estableció la relación entre los problemas que acarrea la diabetes al tener altos niveles de glucosa en sangre, derivado del excesivo consumo de azúcar, vía ingesta de refrescos en este caso en particular y por el otro lado, promover el cuidado del estado físico y salud del organismo al utilizar sustitutos de azúcar naturales, derivado de conocer y utilizar plantas benéficas para la salud.

Instrumentos de recolección de datos: Para esta investigación se recopilaron los datos a través de tres instrumentos:

- Evaluación diagnóstica propone un cuestionario de 33 ítems para identificar el conocimiento de cada estudiante sobre plantas, medicina tradicional y hábitos alimenticios, así como datos personales. El cuestionario consta de dos preguntas dicotómicas y cinco preguntas con respuestas múltiples.
- Evaluación intermedia contiene un cuestionario con escala de evaluación para aplicar las pruebas de aceptación para la alimentación escolar durante el ejercicio práctico; así como una pregunta con respuesta múltiple.
- Evaluación final integra un cuestionario de 7 preguntas dicotómicas para identificar el nivel de reflexión y sensibilización logrado al final del taller.

Recolección de datos: Los datos se reunieron a través de los instrumentos arriba descritos, en el transcurso de cada uno de los 15 talleres realizados. La evaluación diagnóstica se aplicó al inicio de cada sesión. La aplicación de la evaluación intermedia se realizó durante el ejercicio práctico de los estudiantes. Una vez terminado el ejercicio para motivar la reflexión final, se aplicó la evaluación correspondiente.

Análisis de datos: Los datos se analizaron de acuerdo a lo propuesto en cada cuestionario. Se hicieron análisis univariados descriptivos de cada variable. Para el análisis de los datos se utilizó el paquete estadístico SPSS V21.

RESULTADOS

Se realizaron 15 talleres en escuelas primarias públicas de los 11 Municipios del estado de Campeche, como se muestra en el Cuadro 1. Se aplicaron cuestionarios a 398 estudiantes de 10 escuelas de turno matutino y 1 de turno vespertino; 73.2 % de estudiantes cursan el 5° o 6° grado, el restante correspondió a grupos de 3° y 4° grado o grupos multigrado. Un 63 % de los encuestados (254 estudiantes) tienen entre 10 y 11 años de edad; el resto de estudiantes (61) entre 8 y 9 años y 60 estudiantes con 12 y 13 años de edad. De los 398 estudiantes, 51 % son de género femenino y el 46 % del masculino (3 % no respondió).

La evaluación diagnóstica mostró que 78.2 % de los estudiantes sabían qué es medicina tradicional, 18 % no tenía ese conocimiento y el porcentaje restante no respondió. Al final del taller, el 97.4 % de los estudiantes encuestados consideraron que la medicina tradicional es importante y 95.9 % creyó que las plantas son importantes para la salud y cura de enfermedades.

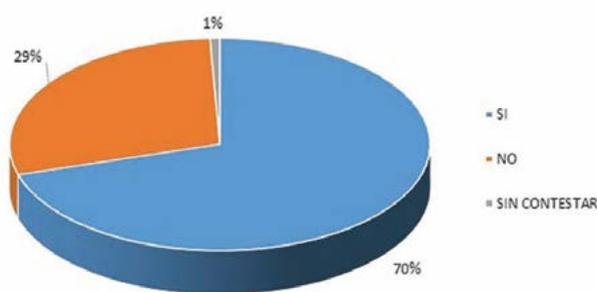
Asimismo, la evaluación diagnóstica arrojó que el 97 % de los estudiantes encuestados manifestó saber que hay plantas que curan enfermedades. La Figura 2 muestra que 70.2 % de los 398 estudiantes encuestados externó que en sus familias hay uno o más integrantes que utiliza las plantas para curar, sobresaliendo la Abuela y la Mamá quienes ejercen principalmente esta actividad.

Al final del taller, 78.1 % de los estudiantes indicó que sí asistiría a consultar a un médico tradicional para

Cuadro 1. Escuelas y municipios en los que se realizaron los 15 talleres sobre plantas medicinales.

No. Taller	Municipio	Población	Escuela Primaria	Grado	Turno
1	Calakmul	Los Ángeles	Simón Bolívar	5° y 6°	Matutino
2	Calkiní	Cabecera municipal	Mateo Reyes	5°	Matutino
3	Calkiní	Cabecera municipal	Mateo Reyes	4°	Matutino
4	Campeche	Barrio Santa Lucía	Manuel Ávila Camacho	6°	Matutino
5	Campeche	Barrio Santa Lucía	Manuel Ávila Camacho	5°	Matutino
6	Candelaria	Cabecera municipal	Benito Juárez	5° y 6°	Matutino
7	Champotón	Cabecera municipal	Miguel Alemán Valdez	4°, 5° y 6°	Vespertino
8	El Carmen	Enrique Rodríguez Cano	Rural Vicente Guerrero	3° y 4°, 5° (Multigrado)	Matutino
9	Escárcega	Cabecera municipal	Urbana Federal Benito Juárez	6°	Matutino
10	Escárcega	Cabecera municipal	Urbana Federal Benito Juárez	5°	Matutino
11	Hecelchakán	Cabecera municipal	Carlos R. Menéndez	5°	Matutino
12	Hecelchakán	Cabecera municipal	Carlos R. Menéndez	4°	Matutino
13	Hopelchén	Cabecera municipal	Presidente Lázaro Cárdenas	6°	Matutino
14	Palizada	Cabecera municipal	Gregorio Torres Q.	5°	Matutino
15	Tenabo	Cabecera municipal	José Encarnación Muñoz	4°	Matutino

¿Hay en tu familia alguien que cure con plantas?



¿Quién de tu familia cura con plantas?

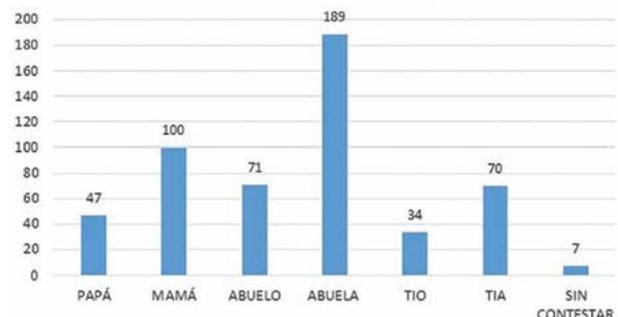


Figura 2. Conocimiento de familiares de estudiantes en el uso de plantas medicinales.

Fuente: propia investigación.

cura de alguna enfermedad. Por su parte, 81.9 % manifestó que le gustaría aprender los conocimientos y convertirse en un médico tradicional.

Uno de los objetivos principales de este taller fue conocer cómo se transmite el conocimiento que se tiene de las plantas medicinales en la región de los Chenes (Hopelchén) de generación en generación. Como se ha mencionado anteriormente esto ocurre, si bien no en la medida deseada, pero los conocimientos se transmiten, así como el cuidado de las plantas, sobre todo en huertos familiares (Jorand, Benoit, 2008). Por otra parte, se indagó acerca del interés de los niños por preservar y cuidar los recursos fitogenéticos. En este sentido se les preguntó, en la evaluación final del taller, si consideran importante la conservación y cuidado de las plantas que sirven a la salud humana. La respuesta mayoritaria como se observa en la gráfica de la Figura 3 es afirmativa, siendo del 93 % de los encuestados respondió que sí, mientras que un 3 % dijo que no y el resto se abstuvo de contestar. Por supuesto esto también obedece no solo al énfasis que se dio en el taller a la importancia de las plantas medicinales sino también al componente del plan de estudios que toca temas como la conservación, salud ambiental, ecología así como los usos de las plantas: como alimento, para obtener materiales, madera, papel, fibras textiles, uso medicinal, plantas de ornato (Sánchez-Martínez A., 2002)

Por otra parte, se buscó que los niños reflexionaran acerca de la importancia de cuidar la alimentación y en consecuencia, la salud, haciendo uso de las plantas. Para ello se desarrolló la práctica antes mencionada que tenía como eje central la planta de estevia (*Stevia rebaudiana*) como una alternativa de endulzar las bebidas y así lograr un im-

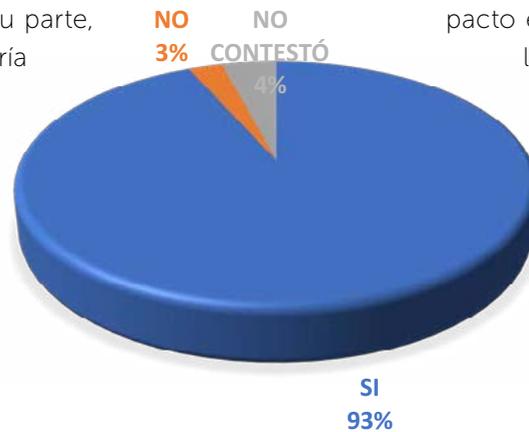


Figura 3. Representación gráfica de la respuesta de los niños encuestados respecto a la importancia que le dan a conservar y cuidar las plantas que son benéficas para la salud o en su caso para curar enfermedades. Fuente: propia investigación.

pacto en temas fundamentales como son la obesidad en todas las edades y el control de la diabetes en adultos. Durante el cuestionario de diagnóstico se les preguntó si sabían el lugar que ocupa México en obesidad infantil en el mundo, a lo cual solo el 37 % respondió correctamente que somos el primer lugar en esta problemática. Al preguntar la frecuencia con la que consumen refrescos embotellados como se puede observar en la Figura 4, se observa que 201 niños contestaron que al menos una vez a la semana, esto representa el 50 % de los encuestados, mientras que 78 niños (19.5 %) lo hacen diariamente, este dato es alto y preocupante, sin embargo se tiene que incidir en hacer conciencia en todos los miembros de la familia.

Como se ha mencionado anteriormente, se trabajó en torno al uso de la estevia como endulzante de origen natural, por lo que indagamos si los estudiantes de nivel básico sabían que existe una planta que puede usarse como sustituto de azúcar dando distintas opciones de respuesta, el 36 % reconoció a la estevia como la respuesta correcta, sin embargo, el 64 % contestó de manera equilibrada algunas de las otras cinco opciones que eran moringa, chíá, jagua, cúrcuma y okra. A pesar de que en los últimos tiempos se le ha dado gran publicidad en los medios de comunicación a esta planta y al producto comercial que existe derivado de ella, muchos niños desconocen para qué sirve, lo cual es un reflejo quizá del poco o nulo uso que se le da en sus casas. Una vez concluida la práctica en



Figura 4. Representación gráfica de las respuestas de los niños encuestados respecto a la frecuencia con la que consumen refrescos embotellados. Fuente: propia investigación.

donde los niños comprobaron de primera mano las propiedades endulzantes de esta planta, se cuestionó si cambiarían el uso del azúcar por usar estevia y si recomendarían a su familia este edulcorante de origen natural; la representación gráfica de sus respuestas está en la Figura 5.

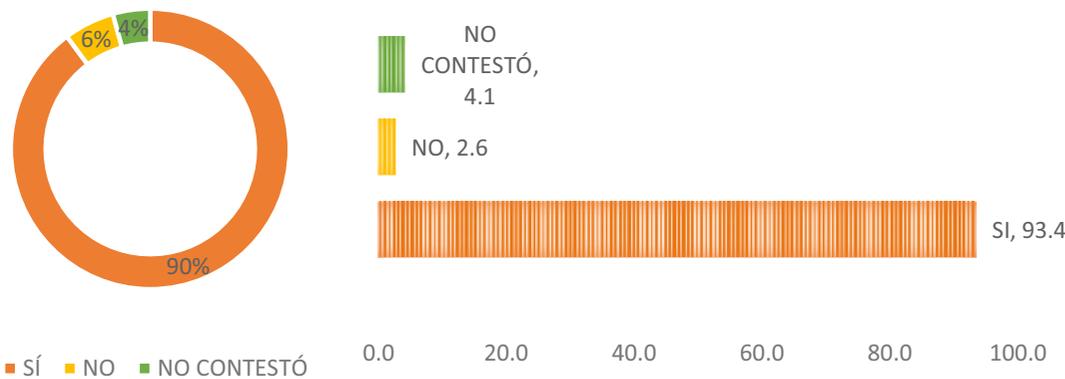


Figura 5. Gráfica Izquierda, respuestas porcentuales al cuestionamiento de si usarían la estevia como sustituto de azúcar y derecha es la respuesta en porcentaje de los niños al preguntar si recomendarían estevia a sus familiares. Fuente: propia investigación.

La percepción global fue que los niños sí comprobaron de manera práctica y directa que la estevia satisfizo sus necesidades para endulzar el agua de frutas como se observa en la gráfica izquierda de la Figura 5 ya que el 90 % dijo que sí podría usar este endulzante como sustituto de azúcar y el 93 % lo recomendaría en su familia

CONCLUSIONES

Los objetivos de esta investigación se han cumplido. El supuesto propuesto se respalda.

El estudio de caso nos permitió concretar que los talleres sirvieron para aportar o fortalecer el conocimiento de las y los estudiantes de primaria sobre plantas medicinales y propiamente sobre la medicina tradicional.

Existe un conocimiento importante en esta temática por parte de los estudiantes y sobre todo, de sus familiares, sobresaliendo la práctica principal por parte de las abuelas, las mamás, los abuelos y las tías. Denotando el ejercicio de esta actividad y su correspondiente gestión del conocimiento de una generación a otra, a través de la figura femenina principalmente esto se debe al papel fundamental que ellas juegan en el cuidado de la salud de la familia así como al interés por la creación de huertos familiares.

Al realizar la práctica las y los niños identificaron el gusto por el endulzante natural e hicieron conciencia de que este edulcorante puede sustituir el uso del azúcar natural. Así mismo, se fortaleció la idea del cuidado de su salud, que revisan los estudiantes durante sus cursos regulares en las materias de civismo y ciencias naturales.

Por otra parte, conocieron la importancia de considerar el beneficio y utilidad de cualquier hierba, planta, arbus-

to o árbol de su localidad, por insignificante que parezca y hacer conciencia del correspondiente cuidado y conservación de los recursos fitogenéticos (plantas endémicas) de su región y del estado de Campeche.

A través de estos talleres surgieron diversos requerimientos y necesidades por parte de los propios estudiantes en cuanto a continuar los talleres, que se extiendan al resto de las escuelas; y por parte de Docentes y Directivos, para obtener las diversas especies de plantas medicinales, establecer huertos escolares y multiplicar el uso de las mismas.

LITERATURA CITADA

Acosta de la Luz L. 2001. Producción de plantas medicinales a pequeña escala: una necesidad de la Comunidad. Revista Cubana de Plantas Medicinales 6: 62-66.

Alberti Manzanares P. 2006. Los aportes de las mujeres rurales al conocimiento de plantas medicinales en México. Análisis de género. Agricultura, Sociedad Y Desarrollo 3: 139-153.

Bloom B.S. 1971. Taxonomía de los objetivos de la educación. Editorial El Ateneo. Primera Edición. Buenos Aires, Argentina.

Caporale L.H. 1995. Chemical ecology: A view from the pharmaceutical industry. Proceedings of the National Academy of Science of the USA 92: 75-82.

Comisión Europea. 2006. Una Introducción a Tuning Educational Structures in Europe. La contribución de las universidades al proceso de Bolonia. Programa Sócrates y Tempus (Dirección de Educación y Cultura). Comité de Gestión. pp. 15.

Chevallier A. 1997. Enciclopedia de plantas medicinales – Guía práctica de consulta con más de 550 hierbas clave y sus usos medicinales. Acento Editorial, Madrid. pp. 30-51.

Da Cunha D.T., Assunção-Botelho R.B., Ribeiro de Brito R., Oliveira-Pineli L.L., Stedefeldt E. 2013. Métodos para aplicar las pruebas de aceptación para la alimentación escolar: validación de la tarjeta lúdica. Revista Chilena de Nutrición 40: 357-363.

Gad H.A., El-Ahmady S.H., Abou-Shoerb M.I., Al-Azizia M.M. 2013. Application of Chemometrics in Authentication of Herbal Medicines: A Review. Phytochemical Analysis 24: 1-24.

Jorand B. 2008. Formas de transformación del conocimiento de la medicina tradicional en los pueblos nahuas del municipio de Hueyapan, Sierra Norte de Puebla. Cuicuilco 15: 181-196.

- Organización Mundial de la Salud. 2013. Estrategia de la OMS sobre medicina tradicional 2014-2023. ISBN 978 92 4 350609 8.
- Organización Mundial de la Salud. 2014. Estrategia de Cooperación de la Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud con México. 2015-2018.
- Osos Reales (The Real Bears). Vídeo disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=ugE-edSydFU>. Revisado: 25/03/2017.
- Rendón von Osten J. 2010. Amenazas de la biodiversidad en: Villalobos-Zapata, G. J., y J. Mendoza Vega (Coord.) (2010). La Biodiversidad en Campeche: Estudio de Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Gobierno del Estado de Campeche, Universidad Autónoma de Campeche, El Colegio de la Frontera Sur. México. 730 p.
- Rojas Alba M. 2009. Tratado de Medicina Tradicional Mexicana – Bases históricas, teoría y práctica clínico-terapéutica. Tomo I. Tlahui-Educa AC, 3ª ed.
- Sánchez Martínez A. 2002. Contenidos ambientales en la educación básica. Disponible en: <http://anea.org.mx/docs/Sanchez-ContenidosAmbientalesEB.pdf> . Revisado: 05/05/2017.
- Yuliana N.D., Khatib Alfi, C., Young H., Verpoorte R. 2011. Metabolomics for Bioactivity Assessment of Natural Products. *Phytotherapy Research* 25: 157-169.



CONDUCTA DE CABRAS (*Capra aegagrus hircus*) ESTABILADAS EN CORRALETAS ALIMENTADAS CON BLOQUES NUTRICIONALES ELABORADOS CON PULPA DE MANGO

CONDUCT OF GOATS (*Capra aegagrus hircus*) STABILATED IN FOODED CORRALS WITH NUTRITIONAL BLOCKS PREPARED WITH PULP OF MANGO

Manuel-Luviano, D.¹, Torres-Salado, N.^{2,3}, Ávila-Nájera, D.M.⁴, Peláez-Acero, A.⁵, Herrera-Pérez, J.⁶, Rojas-García, A.R.², Bottini-Luzardo, M.B.²; Sánchez-Santillán, P.^{2,3*}

¹Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Guerrero, México.

²Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia No. 2, Universidad Autónoma de Guerrero, México.

Km 197 Carretera Acapulco-Pinotepa Nacional. 41940. Cuajinicuilapa, Guerrero. ³Cuerpo Académico Producción Sustentable de Rumiantes en el Trópico UAGRO-CA-183.

⁴Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Xochimilco, Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, D. F. 04960, México.

⁵Área Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. Km. 1, ExHacienda de Aquetzalpa, 43600, Tulancingo, Hidalgo.

⁶Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Km. 36.5, carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, México.

⁶Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Km. 36.5, carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, México.

⁶Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Km. 36.5, carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, México.

⁶Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Km. 36.5, carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, México.

⁶Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Km. 36.5, carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, México.

⁶Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Km. 36.5, carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, México.

⁶Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Km. 36.5, carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, México.

⁶Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Km. 36.5, carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, México.

⁶Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Km. 36.5, carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, México.

⁶Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Km. 36.5, carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, México.

⁶Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Km. 36.5, carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, México.

⁶Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Km. 36.5, carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, México.

⁶Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Km. 36.5, carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, México.

⁶Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Km. 36.5, carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, México.

⁶Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Km. 36.5, carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, México.

⁶Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Km. 36.5, carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, México.

⁶Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Km. 36.5, carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, México.

⁶Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Km. 36.5, carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, México.

⁶Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Km. 36.5, carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, México.

⁶Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Km. 36.5, carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, México.

⁶Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Km. 36.5, carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, México.

⁶Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Km. 36.5, carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, México.

⁶Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Km. 36.5, carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, México.

⁶Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Km. 36.5, carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, México.

⁶Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Km. 36.5, carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, México.

⁶Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Km. 36.5, carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, México.

⁶Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Km. 36.5, carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, México.

⁶Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Km. 36.5, carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, México.

⁶Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Km. 36.5, carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, México.

⁶Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Km. 36.5, carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, México.

⁶Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Km. 36.5, carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, México.

⁶Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Km. 36.5, carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, México.

⁶Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Km. 36.5, carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, México.

⁶Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Km. 36.5, carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, México.

⁶Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Km. 36.5, carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, México.

⁶Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Km. 36.5, carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, México.

⁶Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Km. 36.5, carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, México.

RESUMEN

La producción de cabras (*Capra aegagrus hircus*) en el trópico requiere de suplementación nutricional y el uso de bloques nutrimentales (BN) elaborados con materias primas locales, tales como el mango (*Mangifera indica* L.). Se determinó el consumo de BN y evaluó el comportamiento de consumo de las cabras al sustituir la melaza de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) por pulpa de mango. La melaza de caña se sustituyó en 0, 10, 20 y 30% por pulpa de mango en la elaboración de BN. El consumo de BN y heno de pasto pangola (*Digitaria eriantha* Steud) se midió en cuatro cabras de la raza Bóer y cuatro criollas. Las cabras se alimentaron con 1 Kg de pasto pangola y 1 Kg de un BN cada día. Las variables se analizaron con un diseño cuadrado latino 4x4 repetido. El comportamiento de las cabras se obtuvo usando un muestreo de barrido durante 96 h consecutivas registrando cada 15 min el comportamiento. La frecuencia conductual se analizó con la prueba Friedman y el comportamiento por tipo de BN con la prueba Kruskal-Wallis. Las cabras no presentaron diferencias ($p > 0.05$) en el consumo de heno de pasto pangola y BN. El consumo del BN fue en promedio 689 g d^{-1} . Las cabras se observaron principalmente defecando, paradas, orinando y balando, pero sin diferencia entre conductas ($p > 0.05$). Las cabras presentaron mayor conducta consumiendo BN que forraje ($p \leq 0.05$), y no mostraron diferencias ($p > 0.05$) en su conducta por tipo de BN ofrecido. Bajo estas condiciones, se concluye que la sustitución parcial o total de melaza de caña de azúcar por pulpa de mango no afecta la palatabilidad del bloque ni el consumo de alimento de las cabras, y no modifica las actividades de las cabras y su frecuencia.

Palabras clave: ganado caprino, consumo, comportamiento, melaza, pulpa de mango.

Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 2, febrero. 2018. pp: 135-139.

Recibido: julio, 2017. **Aceptado:** diciembre, 2017.



ABSTRACT

The production of goats in the tropics requires nutritional supplementation and the use of nutritional blocks (NB) made with local raw materials, such as mango. The objectives of the present study were to determine the NB consumption and to evaluate the consumption behavior of goats by replacing sugarcane molasses with mango pulp. The cane molasses were replaced at 0, 10, 20 and 30% by mango pulp in the elaboration of NB. NB consumption and hay of pangola grass were measured in four goats of the Bóer race and four creoles. The goats were fed with 1 kg of pangola grass and 1 kg of a NB each day. The variables were analyzed with a 4x4 Latin square repeat design. Behavior of the goats was obtained using a sweep sampling for 96 consecutive hours recording the behavior every 15 min. The frequencies of behaviors were analyzed using the Friedman test and behavior by type of NB with the Kruskal-Wallis test. Goats did not present differences ($p > 0.05$) in hay consumption of pangola grass and NB. NB consumption averaged 689 g d^{-1} . Goats were observed mainly defecating, paws, urinating and balding, but without differences between behaviors ($p > 0.05$). Goats presented higher behavior using NB than forage ($p \leq 0.05$). Goats showed no difference ($p > 0.05$) in their behavior by type of NB offered. Under these conditions. It is concluded that the partial or total substitution of sugarcane molasses for mango pulp does not affect the palatability of the block or the food consumption of the goats. Likewise, it does not modify the activities of the goats and their frequency.

Keywords: behavior, consumption, goats, molasses, mango pulp.

mercado y sobreproducción, generando problemas fitosanitarios y de calidad comercial (Sumaya-Martínez *et al.*, 2012). Su uso e implementación para alimentación de ganado es una estrategia que permite solventar dichos problemas y promueve su utilización para aminorar gastos de producción. Los animales estabulados pueden presentar comportamientos anormales o sin una explicación aparente (Fraser y Broom, 1990), tales como la respuesta a estímulos externos, cambios fisiológicos, y también, en respuesta al comportamiento de otros miembros del hato (Ortega y Gómez, 2006). El comportamiento y bienestar animal toma relevancia ya que existe una relación entre el comportamiento, los problemas productivos y la salud animal (Miranda-de la Lama, 2008). Por lo que se ven inmersos la salud física y mental del animal, que a su vez repercute en su productividad (Toledo y Vargas, 2016).

La evaluación de un animal sano involucra su funcionamiento biológico, estado de vida natural y estado efectivo del animal (Miranda-de la Lama, 2008). Este se evalúa observando su comportamiento (Blasco, 2011), ya que se adaptan y controlan su medio, proporcionando información sobre preferencias, necesidades y estado interno (Toledo y Vargas, 2016). Dado lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo, determinar el consumo de bloques nutrimentales por cabras en estabulación, observando la palatabilidad de bloques sustituyendo la melaza de caña de azúcar por pulpa de mango, con el fin de evaluar el comportamiento de las cabras durante la prueba de consumo a través de una prueba etológica.

INTRODUCCIÓN

Las cabras (*Capra aegagrus hircus*) son consideradas consumidores intermedios, porque se alimentan de concentrados y forrajes de acuerdo a su disponibilidad (Van Soest, 1988). Estos rumiantes se consideran selectivos en pastoreo; ya que tienen la capacidad de consumir una gran variedad de vegetación con mayor eficiencia digestiva sobre forrajes de baja digestibilidad (Lu y Mahgoub, 2005). En estabulación, las cabras son alimentadas con recursos disponibles en las localidades y muchas veces no suplen sus requerimientos energéticos que les permita llevar a cabo la finalización en el tiempo deseado, aumentando los costos de producción. La suplementación alimenticia puede ayudar a la obtención de nutrientes requeridos por el animal en los diferentes estadios de desarrollo utilizando plantas o derivados de éstas según las regiones y disponibilidad a lo largo del año (Vázquez-Mendoza *et al.*, 2012). La incorporación de bloques nutrimentales es una estrategia de suplementación en rumiantes (Birbe *et al.*, 2006) que facilita el suministro de nutrientes con un consumo regulado (Tobia *et al.*, 2003) para cubrir las deficiencias en la dieta de los animales. Actualmente, se busca que dichos bloques estén constituidos por ingredientes nuevos o regionales, por ejemplo, el uso de vegetación marina (Castellanos *et al.*, 2010) o mucitago de café (Pinto *et al.*, 2014). En las zonas tropicales de México, el mango (*Mangifera indica* L.) es una fruta de temporada que presenta saturación de

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en las instalaciones de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia No. 2 de la Universidad Autónoma de Guerrero, ubicada en el municipio de Cuajinicuilapa (región de la Costa Chica), Guerrero, México (16° 08' N y 98° 23' O), a una altura de 50 m (Gobierno del Estado, 2015).

Bloques nutricionales (BN)

El fruto de mango se obtuvo de productores del municipio de Cuajinicuilapa. La pulpa se separó de la cascara y el hueso y se licuó en una licuadora (OSTER®, USA). En la elaboración de los BN se sustituyó parcialmente la melaza de caña de azúcar por pulpa de mango (Cuadro 1). Los ingredientes se mezclaron hasta homogeneizar y se colocaron en un molde de plástico para compactarlo. Los BN se secaron al sol para obtener una consistencia firme y dura.

Análisis bromatológico

En el análisis bromatológico se determinó materia seca (MS), proteína cruda (PC) y cenizas (Ce), según AOAC (2005). Además de fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente acida (FDA) con la metodología de ANKOM Technology Method de VanSoest *et al.* (1991). Se usaron cuatro cabras de la raza Bóer y cuatro cabras criollas. Las cabras se estabularon en corraletas individuales dos días antes de iniciar la prueba como periodo de adaptación. La alimentación fue con base en heno de pasto pangola (*Digitaria eriantha* Steud).

Prueba de consumo

Las cabras se alimentaron cada día con 1 kg de heno de pasto pangola y agua fresca *ad libitum*. Un tipo de BN (1 kg) se ofreció a cada cabra y transcurridas 24 h se retiró el resto del bloque y pasto pangola; por diferencia de peso se calculó el consumo de los mismos. Las variables se analizaron con un diseño cuadrado latino 4x4 repetido. Los datos se analizaron usando el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS® (2011). La diferencia entre medias fue usando la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

Comportamiento animal

El comportamiento de las cabras se observó durante la prueba de consumo. El patrón de comportamiento se determinó por medio de un muestreo de barrido según la metodología de Chávez-González (2012). Durante 96 h consecutivas se registró cada 15 min el comportamiento de las cabras según lo descrito en el Cuadro 2. Las medianas de la frecuencia conductual de las cabras se analizaron mediante la prueba no paramétrica Friedman (SAS, 2011). Los datos del comportamiento por tipo de BN se analizaron con la prueba estadística no paramétrica de Kruskal-Wallis (SAS, 2011).

Cuadro 1. Composición y características nutritivas de los bloques multinutricionales sustituyendo melaza de caña (*Saccharum* spp.) por pulpa de mango (*Mangifera indica* L.)

Ingrediente (%)	BN30%	BN20%	BN10%	BN0%
Composición de los bloques multinutricionales				
Urea	10	10	10	10
Sal	5	5	5	5
Mezcla Mineral	3	3	3	3
Cemento	10	10	10	10
Heno de pasto pangola	5	5	5	5
Pasta de coco	20	20	20	20
Mazorca de maíz molida	17	17	17	17
Melaza de caña	0	10	20	30
Pulpa de mango	30	20	10	0
Análisis bromatológico de los bloques multinutricionales (%)				
MS	91.89	91.85	91.70	92.74
PC	36.16	35.19	25.89	31.51
Ce	28.79	26.00	27.52	26.33
FDN	26.58	24.16	22.27	21.23
FDA	13.32	12.50	10.94	10.64

BN30%: 30% pulpa de mango-0% melaza; BN20%: 20% pulpa de mango-10% melaza; BN10%: 10% pulpa de mango-20% melaza; BN0%: 0% pulpa de mango-30% melaza; MS: materia seca; PC: proteína cruda; CE: ceniza; FDN: fibra detergente neutra; FDA, fibra detergente acida.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las cabras no presentaron diferencias ($p>0.05$) en el consumo de heno de pasto pangola, con un consumo promedio de 689 g d⁻¹. El consumo de BN no presentó diferencias entre tratamientos; sin embargo, el BN10% de pulpa de mango representó 13.14% del total del alimento consumido por las cabras. Esto representó en promedio 6.05% menos consumo de bloque que el resto de los tratamientos (Cuadro 3). La investigación sobre la utilización de BN como suplemento presenta gran variedad de resultados dependiendo de los ingredientes utilizados en su elaboración (Mejías *et al.*, 2007; Rodríguez *et al.*, 2010; Martínez-Martínez, 2010; Zarah *et al.*, 2014). Vázquez-Mendoza (2012) suplementaron ovinos con BN elaborados con forra-

je de *Leucaena leucocephala* (25%), melaza (40%) y maíz (*Zea mays* L.) (16%); obteniendo un consumo de 135 g d⁻¹, que representó 17.18% menos consumo que los BN30% del presente estudio.

Durante la prueba de consumo de los BN se observó el comportamiento de las cabras (Cuadro 4) para determinar sus efectos en los animales, y la sustitución de melaza de caña de azúcar por pulpa de mango (Cuadro 5). Las principales conductas observadas en las cabras estabuladas fueron defecando, parada de patas, orinando y balando sin diferencia entre conductas (p>0.05). Las cabras presentaron mayor conducta consumiendo el BN que el forraje (p≤0.05). Dentro de actividades que menos se observaron fueron permanecer paradas, consumiendo forraje, rumiando echada y echada (p>0.05; Cuadro 4). Este comportamiento se puede atribuir al confinamiento individual; ya que el caprino al estar en confinamiento genera una secuencia de movimientos, repetida y poco variada (Fraser y Broom, 1990). El Cuadro 5 muestra que no hay diferencias (p>0.05) entre las 12 conductas evaluadas en el comportamiento de las cabras estabuladas consumiendo BN con diferentes niveles de pulpa de mango en sustitución de melaza de caña. Por lo que la sustitución parcial o total de melaza de caña de azúcar por pulpa de mango no afecta las actividades de consumo y palatabilidad del mismo, aun cuando las cabras son confinadas en corraletas individuales (Fraser y Broom, 1990).

CONCLUSIONES

La sustitución de la melaza de caña de azúcar por pulpa de mango en la elaboración de bloques

Cuadro 2. Etograma de cabras estabuladas alimentadas con pasto pangola (*Digitaria eriantha* Steud) suplementado con bloques nutricionales.

Actividad	Definición	
Parada	La cabra se presenta quieta sobre sus cuatro extremidades	
Echada	El animal se recuesta en el piso, doblando las extremidades y apoyando el tronco sobre la superficie	
Bebiendo agua	El animal agacha la cabeza, pega la boca en la superficie del agua y succiona	
Consumiendo	Forraje	Comiendo forraje
	Bloque	Comiendo bloque multinutricional
Rumiando	Parada	Regurgitando y masticando los alimentos de pie
	Echada	Regurgitando y masticando los alimentos echada
Micción	Proceso de orinar	
Defecando	Expulsando los excrementos por el ano.	
Balando	El animal emite balido	
Acicalamiento	El animal usa la boca, patas o algún elemento del corral para recargarse o jalarse sin evidencia de extracción de pelos	
Parada en dos patas	El animal se encuentra parada sobre sus patas traseras	

Cuadro 3. Consumo de bloques nutricionales y heno de pasto pangola (*Digitaria eriantha* Steud) con diferentes niveles de inclusión de pulpa de mango en sustitución de melaza de caña de azúcar (*Saccharum* spp.).

Tratamiento (%)	Consumo total (g)	Consumo de bloque (g)	Consumo de pasto (g)
BN0	850	156	694
BN10	799	105	694
BN20	871	171	700
BN30	831	163	669
EEM*	30.93	16.65	22.42

*EEM, error estándar de la media.

Cuadro 4. Evaluación de las actividades realizadas por las cabras estabuladas (*Capra aegagrus hircus*) alimentadas con pasto pangola (*Digitaria eriantha* Steud) suplementado con bloques nutricionales.

Actividad	Suma	Media
Defecando	92.5	2.89 ^a
Parada de patas	97.5	3.05 ^{ab}
Orinando	105	3.28 ^{abc}
Balando	115	3.59 ^{abcd}
Acicalamiento	161	5.03 ^e
Tomando agua	179	5.59 ^{ef}
Rumiando Parada	203.5	6.36 ^{fg}
Consumiendo Bloque	240.5	7.52 ^h
Parada	255	7.97 ^{hi}
Consumiendo Forraje	340	10.63 ^j
Rumiando Echada	351.5	10.98 ^j
Echada	355.5	11.11 ^j

nutrimentales, no afecta el consumo tanto del bloque como del heno de pasto pangola en cabras estabuladas, lo que sugiere su uso en la elaboración de bloques para la suplementación de cabras en el trópico. La suplementación con bloques nutrimentales en diferente porcentaje de pulpa de mango no modifica el comportamiento de las cabras.

LITERATURA CITADA

- AOAC. 2005. Official Methods of Analysis. Edition 18. Association of Official Analytical Chemists. Washington, EE.UU. 1928 p.
- Birbe B., Herrera P., Colmenares O., Martínez N. 2006. El consumo como variable en el uso de bloques multinutricionales. *In: X Seminario de Pastos y Forrajes*. Maracaibo, Venezuela. 43-61 pp.
- Blasco A. 2011. Ética y bienestar animal. Ed Akal, S. A. Madrid, España. 160 p.
- Castellanos R.A.F., Cauich H.F., Chel, G.L.A., Rosado R.J.G. 2010. Vegetación marina en la elaboración de bloques multinutritivos para la alimentación de rumiantes. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 1(1):75-83.
- Chávez-González E.J. 2012. Propuesta de diseño de una unidad de manejo ambiental (UMA) para primates no humanos en el municipio de Tepoztlán, estado de Morelos, México. Tesis licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Estado de México, México. 57 p.
- Fraser A. F., Broom D.M. 1990. Farm animal behaviour and welfare. 3rd ed. CAB International, Wallingford, Oxon, UK. New York, USA. 437 p.
- Lu C.D., Kawas J.R., Mahgoub O.G. 2005. Fiebre digestion and utilization in goats. *Small Ruminant Research* 60:45-52
- Martínez-Martínez R. 2010. Bloques multinutricionales elaborados con follaje de árboles como suplemento alimenticio de ovinos. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Veracruz, México. 52 p.
- Mejías R., Díaz J.A., Hechemendia M., Jordán H., García R., Rodríguez J. 2007. Evaluation of the physical properties of the multinutrient blocks including zeolite and sugarcane meal. Compaction and intake in stabulated lambs. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 41(1): 33-35.
- Miranda-de la Lama G.C. 2008. Comportamiento y bienestar en la producción animal: Hacia una interpretación integral. *Revista Electrónica de Veterinaria*. 9(10B).
- Ortega C.M.E., Gómez, D.A.A. 2006. Aplicación del conocimiento de la conducta animal en la producción pecuaria. *Interciencia*. 31(12): 844-848.
- Pinto R.R., Medina J.A., Medina F.J., Guevara F., Gómez H., Ley A., Carmona J. 2014. Sustitución de melaza por mucilago de café (*Coffea arabica* L) en bloques nutricionales para rumiantes. *Archivos de Zootecnia*. 63(241): 65-71.
- Rodríguez M.C., Aguirre E., Salvador F., Ruiz O., Arzola C., La O.O., Villalobos C. 2010. Producción de gas, ácidos grasos volátiles y nitrógeno amoniacal *in vitro* con dietas basadas en pasto seco. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 44(3):251-259.
- SAS (Statistical Analysis System). 2011. SAS Proceeding Guide, Versión 9.0 SAS Institute. Cary NC. USA.
- Sumaya-Martínez M.T., Sánchez H.L.M., Torrez G.G., García P.D. 2012. Red de valor del mango y sus desechos con base en las propiedades nutricionales y funcionales. *Revista Mexicana de Agronegocios*. 16(30): 826-833.
- Tobía C., Bustillos A., Bravo H., Urdaneta D. 2003. Evaluación de la dureza y el consumo de bloques nutricionales en ovinos. *Gaceta de Ciencias Veterinarias*. 9(1): 26-31.
- Toledo L.V.M., Vargas V.M.L. 2016. Bienestar animal y calidad de la carne. *In: Bioética, inocuidad y bienestar animal, producción de carne y leche*. Ed. Martínez. Guanajuato, México. 1-24 pp.
- Van Soest, P.1988. Ruminant Ecology. Cornell University Press. U.S.A.
- Van Soest P.J., Robertson J.B., Lewis B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*. 74:3583-3597.
- Vázquez-Mendoza P., Castelán-Ortega O.A., García-Martínez A., Avilés-Nova F. 2012. Uso de bloques nutricionales como complemento para ovinos en el trópico seco del altiplano central de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 15(1): 87-96.
- Zarah A., Mohammed I., Abbator F. 2014. Rumen degradation characteristics of multinutrient blocks in semi-arid region of Nigeria. *Animal Production*. 16(1): 25-30.

Cuadro 5. Mediana de la frecuencia conductual de cabras (*Capra aegagrus hircus*), suplementadas con bloques nutrimentales con distintos niveles de sustitución de melaza de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) por pulpa de mango (*Mangifera indica* L.).

Actividad	BN0%	BN10%	BN20%	BN30%	Probabilidad
Parada	5	6	5	5	0.669
Echada	26	25	27	27	0.702
Tomando agua	1	2	2	2	0.106
Consumiendo forraje	21	25	23	22	0.664
Consumiendo bloque	3	3	5	5	0.139
Rumiando Parada	3	2	2	2	0.845
Rumiando Echada	29	25	24	23	0.729
Orinando	0	0	1	0	0.543
Defecando	0	0	1	0	0.102
Balando	0	1	0	0	0.750
Talla o rasca	1	2	1	1	0.127
Parada de patas	0	0	0	0	0.322

IMPLICACIONES SOCIOECONOMICAS POR LA IMPLEMENTACIÓN DE PROGRAMAS DE SANIDAD, CALIDAD E INOCUIDAD ALIMENTARIA EN EL SECTOR PRODUCTIVO DE FRUTAS Y HORTALIZAS EN MÉXICO

IMPLICATIONS OF SOCIOECONOMIC TYPE THAT HAVE THE IMPLEMENTATION OF FOOD SAFETY PROGRAMS IN THE PRODUCTION SECTOR OF FRUIT AND VEGETABLES IN MEXICO

Cedillo-Portugal, E.^{1*}, Anaya-Rosales, S.²

¹Facultad de Estudios superiores Aragón-UNAM, Av. Rancho Seco s/n, Col. Impulsora, Cd. Nezahualcóyotl, México, C.P. 57130. ²Programa de Fitosanidad, Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, km. 36 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, México, C.P. 56230.

*Autor Responsable: ecedillo130766@gmail.com

RESUMEN

La producción de frutas y hortalizas en México, se ha convertido en una importante fuente de recursos económicos en los últimos años. Es un sector que se ha mantenido en constante crecimiento y actualmente encabeza el grupo de productos del sector agroalimentario que más se exporta; sin embargo, en la actualidad, la mayoría de las unidades productivas que se dedican a esta actividad, adolecen de la implementación de Programas orientados a reducir los riesgos de contaminación y mejorar la sanidad e inocuidad de los alimentos; por ejemplo, las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y las Buenas Prácticas de Manejo (BPM), cuyo objetivo es reducir la contaminación física, química y biológica, y se aplican desde la producción primaria, empaque, transporte y distribución a los centros comerciales de los productos cosechados del campo. Implementar este tipo de Programas de Sanidad e Inocuidad Agroalimentaria en las Unidades de Producción del sector de frutas y hortalizas deberá tener un impacto positivo en el aspecto social y económico para el País, ya que son una fuente importante de empleo y generan un gran valor económico en toda la cadena productiva.

Palabras clave: Exportación, bioseguridad, alimentos inocuos.

Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 2, febrero. 2018, pp: 140-146.

Recibido: octubre, 2017. **Aceptado:** diciembre, 2017.

ABSTRACT

The production of fruit and vegetables in Mexico has become an important source of economic resources in recent years. It is a sector that has remained in constant growth and currently leads the group of products of the agri-food sector that is most exported. However, at present, most of the productive units engaged in this activity in Mexico suffer from the implementation of programs aimed at reducing the risks of contamination and improving the health and safety of food; for example: Good Agricultural Practices (GAP) and Good Management Practices (GMP). These practices have the objective of reducing physical, chemical and biological contamination, and are applied from primary production, packing, transport and distribution to the commercial centers of the harvested products of the field. Implementing this type of Agrifood Health and Safety Programs in the Production Units of the fruit and vegetables sector should have a positive impact on the social and economic aspect for the Country, since they are an important source of employment and generate great economic value throughout the production chain.

Keywords: Exportation, biosecurity, safe food.

Importancia de las frutas y hortalizas

México cuenta con una gran diversidad ecológica, climática y de suelos, lo cual hace que en su territorio se puedan cultivar especies de clima templado, subtropical y tropical. Las anteriores características ofrecen ventajas comparativas a México, en relación a sus vecinos del norte (Estados Unidos, Canadá) y países de Europa, lo cual ha permitido incrementar las exportaciones en beneficio de los agricultores mexicanos y la economía nacional. En el 2012 (SIAP), reportó que se cosecharon 20.5 millones de hectáreas, siendo el maíz (*Zea mays* L.), pastos (*Poa*-*ceae*), sorgo grano (*Sorghum* spp.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y avena forrajera (*Avena sativa* L.) las especies que mayor superficie ocuparon. Este grupo de cinco especies con mayor superficie de cultivo, ocuparon el 66.7 % de la superficie; sin embargo, generaron únicamente 36.4% del valor de la producción. En cambio, el frutal más cultivado fue la naranja (*Citrus x sinensis*), apareciendo hasta el lugar 12, y del grupo de las hortalizas los chiles verdes (*Capsicum* sp.) aparecen en lugar 19. Lo anterior, indica que los frutales y las hortalizas no compiten en superficie cosechada con las especies anteriormente señaladas. Sin embargo, al analizar la información por el valor de la producción, las cosas cambian radicalmente. Las 10 principales especies de frutales ocupan el 5.0% de la superficie cosechada, pero generan el 12.3% del valor total de la producción (Cuadro 1). Por otra parte, en el grupo de las 10 principales hortalizas, se tiene que ocupan el 2.5 % de la superficie cosechada en México en el 2012, pero aportan el 13.1% del valor de la producción (Cuadro 2). Si se

INTRODUCCIÓN

La producción de frutas y hortalizas en México, se ha convertido en una importante fuente de recursos económicos. Es un sector que se ha mantenido en constante crecimiento y actualmente encabeza el grupo de productos del sector agroalimentario que más se exportan. Las frutas y hortalizas representan desde el punto de vista alimenticio, una importante fuente de fibras, vitaminas, minerales y antioxidantes, que complementan la dieta diaria de carbohidratos, proteínas y grasas obtenidas de otros vegetales, tales como los granos y los de origen animal. De manera complementaria, las frutas y hortalizas son de los cultivos agrícolas más rentables y generan gran cantidad de mano obra para las diferentes etapas del proceso de obtención del producto principal, que va desde el aprovisionamiento de insumos como semillas, sistemas de riego y agroquímicos; el proceso de cultivo, la cosecha y empaque, así como la logística para su traslado a los centros de venta y al consumidor final. En la actualidad, la mayoría de las unidades productivas que se dedican a esta actividad en México, adolecen de la implementación de Programas orientados a reducir los riesgos de contaminación, por ejemplo, las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y las Buenas Prácticas de Manejo (BPM), cuyo objetivo es reducir la contaminación física, química y biológica, y se aplican desde la producción primaria, empaque, transporte y distribución a los centros comerciales. Implementar este tipo de Programas de Sanidad e Inocuidad Agroalimentaria en las Unidades de Producción del sector de frutas y hortalizas deberá tener un impacto positivo en el aspecto social y económico para el país. Por lo cual, en este ensayo se analizó la importancia del sector productivo hortofrutícola en México y las implicaciones sociales y económicas que puede tener la implementación de los programas anteriormente señalados.

suma el grupo de diez especies de frutas y hortalizas respectivamente, se tiene que ocupan una superficie cosechada de 7.6%, pero generan el 25.4% del valor total de la producción (Cuadro 3).

En el grupo de las diez hortalizas más importantes por superficie cosechada, destacaron el grupo de los chiles verdes, el elote (*Zea mays* L.) y el tomate rojo (*Solanum lycopersicum* Mill.) (Cuadro 2).

Las frutas y hortalizas también son importantes por la mano de obra que ocupan para las diferentes actividades del proceso de producción y procesamiento. En la mayoría de estas especies, las labores no se

pueden mecanizar y se tiene que utilizar la mano de obra para trasplantar, podar, entutorar, cosechar y empacar los productos.

En el sector de las exportaciones agroalimentarias, las frutas y hortalizas generan una gran cantidad de divisas; al cierre del 2012, entre los principales productos de exportación se registró primero a la cerveza de malta, jitomate fresco y aguacate (*Persea americana* Mill.). Durante los últimos veinte años, el crecimiento de las exportaciones agroalimentarias ha mantenido un crecimiento anual de 10%, siendo el principal destino los Estados Unidos de América. A nivel mundial México es el principal exportador de jitomate fresco, aguacate, cebolla (*Allium cepa* L.), mango (*Mangifera indica* L.), guayaba, (*Psidium guajaba*) papaya (*Carica papaya* L.) y coles de Bruselas (*Brassica oleracea* L.). México también se encuentra en los primeros cinco lugares en la exportación de chile, pepino, sandía (*Citrullus lanatus*), limones (*Citrus* sp.), frambuesas (*Rubus idaeus*), espárragos (*Asparagus officinalis*), fresas frescas (*Fragaria* sp.), melón (*Cucumis melo*), brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*), remolacha (*Beta vulgaris* L.), lechuga (*Lactuca sativa*), berenjena (*Solanum melongena*) y espinaca (*Spinacia oleracea*) (Evolución de las exportaciones agroalimentarias, SAGARPA, 2012).



Figura 1. A: Cultivo de calabacita (*Cucurbita* sp.) y B) pepino (*Cucumis sativus*) en Morelos, México.

Cuadro 1. Principales especies frutales cultivadas en México 2012.

Cultivo	Sup. Sembrada (ha)	Sup. Cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	PMR (\$t ⁻¹)	Valor Producción (Miles de Pesos)
Naranja	333,073.77	323,357.14	3,666,789.65	11.34	1,642.89	6,024,122.26
Mango	186,819.56	174,716.17	1,465,190.35	8.39	2,805.05	4,109,935.53
Limón	166,515.94	149,193.70	2,055,208.89	13.78	2,388.61	4,909,083.90
Aguacate	151,022.65	130,307.99	1,316,104.02	10.1	12,619.17	16,608,146.76
Plátano	75,314.64	72,617.44	2,203,861.42	30.35	2,622.72	5,780,120.83
Manzana	61,551.59	58,451.25	375,044.90	6.42	8,022.67	3,008,862.99
Tuna	55,917.70	51,134.15	527,627.11	10.32	2,684.57	1,416,454.39
Durazno	43,325.17	33,216.44	162,865.86	4.9	7,296.63	1,188,371.25
Uva	28,940.61	26,914.51	375,298.40	13.94	18,901.46	7,093,688.36
Mandarina	22,396.63	21,266.41	272,426.07	12.81	1,321.11	359,904.71
Total	1,124,878.2	1,041,175.20	12,420,416.67			50,498,690.98

Fuente: SIAP, 2012.

Cuadro 2. Principales hortalizas cultivadas en México 2012.

Cultivo	Sup. Sembrada (ha)	Sup. Cosechada	Producción (t)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	PMR (\$t ⁻¹)	Valor Producción (Miles de Pesos)
Chile verde	138,188.2	136,131.61	2,379,735.8	17.48	5,582.3	13,284,426
Papa	68,928.13	67,199.62	1,801,618.3	26.81	5,927.4	10,679,026
Elote	62,240.19	60,984.73	765,544.52	12.55	2,165.1	1,657,520.9
Tomate rojo	55,888.04	55,237.38	2,838,369.8	51.38	4,631.6	13,146,384
Cebolla	44,398.99	42,590.99	1,238,602.2	29.08	3,405.5	4,218,088.5
Tomate verde	43,505.33	41,413.78	595,197.39	14.37	4,100.6	2,440,693.1
Sandia	38,230.67	37,522.50	1,033,524.4	27.54	2,389.3	2,469,442.8
Calabacita	27,037.22	25,957.22	436,947.41	16.83	4,630.3	2,023,208.8
Brócoli	24,001.74	23,598.74	334,550.99	14.18	4,969.3	1,662,499.99
Melón	20,877.62	20,172.42	574,976.45	28.5	3,974.9	2,285,484.7
Total	523,296.1	510,808.99	11,999,067			53,866,777

Fuente: SIAP, 2012.

Cuadro 3. Superficie cosechada de las diez principales frutas y hortalizas en México 2012.

Cultivo	Sup. Sembrada (ha)	Sup. Cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	PMR (\$t ⁻¹)	Valor Producción (Miles de Pesos)
Frutales	1,124,878.26	1,041,175.2	12,420,416.7			50,498,691
Hortalizas	523,296.14	510,808.99	11,999,067.4			53,866,777
Total	1,648,174.4	1,551,984.19	24,419,484.1			104,365,468

Fuente: SIAP, 2012.

Tecnología utilizada en la producción de frutas y hortalizas

Sin duda alguna, el cultivo de frutas y hortalizas ha forzado el cambio tecnológico en el sector agropecuario, especialmente en las regiones con potencial productivo. Se han desarrollado sistemas de riego presurizado y con fertirrigación (Figuras 2), introducción de nuevas variedades y portainjertos, mejoras en los métodos de control fitosanitario y en el manejo pos cosecha. Por

ejemplo, para el cultivo de jitomate en varias regiones de México, se hacen análisis de la calidad del suelo y agua para nutrir y tener plantas más sanas, se utiliza el riego localizado, los acolchados y un manejo integrado de plagas y enfermedades, lo que ha permitido pasar de un rendimiento promedio de 25 t ha⁻¹ en el siglo pasado, a más de 50 t ha⁻¹ en los últimos años. Sin embargo, es necesario reconocer, que aún se tienen sistemas de producción tradicionales que utilizan po-



Figura 2. A: Colocación de un riego por goteo por cinta. B: Cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum*) por riego por goteo localizado en Morelos, México.

cos insumos mejorados, semillas criollas, de temporal y con un nulo o deficiente control fitosanitario. Los productos de estos sistemas de producción generalmente se van a los mercados regionales y poco contribuyen a la economía del país.

Programas de calidad e inocuidad agroalimentaria en México

En México, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), es la Dependencia del Gobierno Mexicano encargada de apoyar y estimular el desarrollo del sector agropecuario, "A través del desarrollo integral del campo mexicano en un ambiente de sustentabilidad, fortaleciendo la productividad y competitividad en el sector y cumpliendo con las necesidades de calidad y sanidad que requiere el consumidor final de los productos del campo" (SAGARPA, S/A). Para cumplir con sus objetivos, la SAGARPA, cuenta con organismos descentralizados que coadyuvan a impulsar el desarrollo del sector agropecuario. Entre ellos, se encuentra el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). Su trabajo está orientado básicamente a realizar acciones de orden sanitario para proteger los recursos agrícolas, acuícolas, y pecuarios de

plagas y enfermedades de importancia cuarentenaria y económica, así como regular y promover la aplicación y certificación de los sistemas de reducción de riesgos de contaminación de los alimentos y la calidad agroalimentaria de éstos, para facilitar el comercio nacional e internacional de bienes de origen vegetal y animal (SENASICA, 2009). El SENASICA es la instancia encargada de fomentar, supervisar y certificar los programas de sanidad, calidad e inocuidad agroalimentaria. Para ello cuenta con dos programas que generalmente se aplican de forma conjunta, las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y las Buenas Prácticas de Manejo (BPM).

Buenas prácticas agrícolas (BPA) y buenas prácticas de manejo (BPM)

Las BPA y BPM tienen como objetivo principal ofrecer al consumidor final, estándares de calidad e higiene de los productos obtenidos del campo, estos aspectos deberán estar basados en un programa de sanidad de las frutas y hortalizas desde el campo, hasta el empaque y traslado final a los mercados. Las BPA y BPM consisten en un seguimiento y control de los procedimientos utilizados en todo el proceso productivo para asegurar la calidad e inocuidad de los alimentos que llegan al

consumidor final, evitando la contaminación de los productos. La contaminación puede ser física (polvo, basura, etcétera), química (residuos de plaguicidas y/o fertilizantes) y microbiológica (microorganismos infecciosos). Las BPA generalmente se definen como aquellos procedimientos que aseguran la sanidad de los productos desde la preparación del terreno, hasta la cosecha y transporte al área de empaque. Los BPM se definen como aquellos procedimientos que continúan desde la recepción del producto en el área de empaque hasta su traslado a los mercados. Generalmente las unidades de producción que se integran a los programas de sanidad e inocuidad agroalimentaria incluyen a las dos (BPA y BPM) y el proceso es conocido como BPA (Figura 3).

Existen varios factores que deben ser monitoreados y controlados para evitar la contaminación de los productos del campo, de esta manera los programas BPA consideran desde el historial del terreno, la aplicación de fertilizantes y plaguicidas, la calidad del agua utilizada, la higiene de los trabajadores y las instalaciones. El SENASICA a través de la Dirección General de Inocuidad Agroalimentaria, Acuícola y Pesquera (DGIAAP) otorga la certificación



Figura 3. Cosecha y empaque de pepino (*Cucumis sativus*) y calabacita (*Cucurbita* sp.) en Morelos, México.

de las unidades productivas que han aplicado y documentado el uso de las BPAs, a través de un sistema de reducción de riesgos y contaminación (SRRC). En algunos lugares de México, estos lineamientos aún son voluntarios, por lo que urge intensificar dichos programas.

Implicaciones sociales

Las implicaciones sociales de la implementación de los programas de sanidad e inocuidad alimentaria en el sector productivo de frutas y hortalizas, puede verse en dos vertientes: la primera en forma directa en la producción, procesamiento y distribución de los productos; la segunda de forma indirecta y que tiene que ver con los consumidores finales.

Implicaciones sociales directas

Como se señaló anteriormente, en México conviven la agricultura moderna y la tradicional, que están directamente relacionadas con las prácticas de manejo, calidad y el destino del producto. De tal manera, que las implicaciones serán distintas en ambos sistemas productivos. Los productores de los sistemas tradicionales, generalmente viven más aislados, tienen menos apoyos gubernamentales y menor acceso a capacitación y asistencia técnica. De tal manera que diseñar e iniciar un programa de inocuidad y sanidad alimentaria deberá tomar en cuenta los aspectos anteriores. Esto naturalmente tendrá impactos sociales positivos. Desde la creación de fuentes de empleo para los profesionistas destinados a la capacitación y asistencia técnica en sanidad e inocuidad, hasta para los agricultores involucrados, ya que les permitirá ofrecer productos más sanos a los consumidores finales. Para los productores que ya están participando en los mercados nacionales e internacionales, es imperativo ofrecer productos sanos, especialmente cuando venden sus productos a cadenas de supermercados y exportan; y es por ello, que deben diseñar y desarrollar planes a mediano y largo plazo que les permita mejorar la sanidad de la producción, procesamiento y distribución de sus productos. Un programa de sanidad e inocuidad alimentaria en una unidad productiva, debe impulsar la capacitación en el mejoramiento de las condiciones de los trabajadores de campo, mejor conocidos en el ámbito rural como jornaleros agrícolas. El procesamiento de los productos del campo, requiere mano de obra más calificada, ya que en muchos de los casos se requieren conocimientos básicos de manejo poscosecha, tratamientos con frío, lavado y secado, manejo de equipo y maquinaria, empaque, almacenamiento y transporte a los centros de

consumo, también es importante, la seguridad e higiene para el trabajador, primeros auxilios y derecho laboral entre otros. Es necesario reconocer, que en México muchas de estas labores la realizan personal no calificado, especialmente en las pequeñas empresas del centro y sureste del país (Figuras 3). Los trabajadores empleados, están primero en el campo, en el cultivo y cosecha, y luego participan en alguna etapa del procesamiento sin las medidas sanitarias adecuadas.

Implicaciones sociales indirectas

Sin duda alguna, los principales beneficiados de la implementación de programas de sanidad e inocuidad alimentaria en México serán los consumidores finales, sean éstos nacionales o extranjeros. Actualmente, se tiene un control deficiente en la producción, procesamiento y distribución de los productos del campo que llegan a las centrales de abasto del país. Muchos agricultores, venden en pie sus productos, llegan los intermediarios, se ponen de acuerdo y se llevan la producción en grandes camiones sin las medidas sanitarias correspondientes. En la actualidad, existen consumidores más informados, especialmente en las grandes ciudades y con mayor escolaridad, quienes quieren comer frutas y verduras sanas, e investigan su procedencia y manejo del cultivo. Hay consumidores que inclusive están dispuestos a pagar más por este tipo de alimentos.

Implicaciones económicas

La implementación de programas de sanidad e inocuidad alimentaria también tendrá implicaciones económicas importantes. Lo anterior repercutirá básicamente en dos vertientes; la primera en las inversiones tanto para la mejora de las instalaciones, compra de equipo, maquinaria, capacitación y un mejor ingreso para los trabajadores, y en segunda, en el ingreso de más recursos económicos por venta de productos de mayor calidad.

Inversiones

Las inversiones son necesarias para el crecimiento y desarrollo de cualquier empresa, se necesita invertir en varios rubros, por ejemplo, en el mejoramiento de infraestructura de la empresa, compra de insumos, compra de maquinaria y equipo de monitoreo y control. También están las inversiones para crear condiciones de trabajo más seguros y saludables para los empleados, y por supuesto inversiones en capacitación y asistencia técnica. También son importantes las inversiones en procesos de mercadeo, publicidad y obtención de certificaciones nacionales e internacionales.

Hasta el 2004, el SENASICA, reconoció el cumplimiento de la aplicación de las BPA y BPM a 74 unidades de producción y 24 de empaques en 29 entidades federativas; sin embargo, de éstas, 19 unidades productivas y 13 empaques perdieron la vigencia de su reconocimiento (SAGARPA-FAO, 2005). También este mismo documento señala que hace falta capacidad y experiencia de los técnicos que operan la aplicación de las BPA y BPM, aunque 96% de ellos tiene carrera universitaria en agricultura, la mayoría no cuenta con experiencia previa en temas de inocuidad alimentaria. La información anterior sugiere que se tiene poca cobertura con el programa y es necesario seguir formando cuadros técnicos altamente capacitados.

Ingresos a la empresa

En cualquier actividad económica, realizada por particulares o empresas, se busca siempre una ganancia económica, que permita a los propietarios de las unidades de producción tener una vida mejor y que esto se haga extensivo a los trabajadores, profesionistas y técnicos de dichas empresas, por lo cual, implementar programas de sanidad e inocuidad alimentaria en el sector productiva de las frutas y hortalizas en México, deberá tener impactos económicos positivos para todos los actores involucrados. La mayoría de los productores de frutas y hortalizas en México, no llevan un control ni registro de sus costos de producción y mucho menos de su ingreso neto. Muchas veces involucran varias actividades económicas para la obtención de su ingreso, por ejemplo, agricultura y servicios. De tal manera que no se dan cuenta

exactamente cuánto le está dejando la agricultura. Para que los agricultores noten los beneficios económicos de la implementación de programas de sanidad e inocuidad, deberán cambiar su actitud, llevar un mejor control administrativo y saber con precisión lo que invierten y ganan en este sector. Pero también será un trabajo de los técnicos, asesores y consultores de demostrarle las bondades de la incorporación de su empresa a este tipo de programas, especialmente a mediano y largo plazo. Los ingresos a la empresa o unidad de producción se obtienen principalmente de la venta de la cosecha, ya sea como producto sin transformar o con valor agregado.

Actualmente una implementación de un sistema de reducción de riesgos y contaminación (SRRC) en una unidad productiva de 5 ha⁻¹, con registro nacional, tiene un costo aproximado de \$ 25,000.00, lo cual indica que cada ha⁻¹, cuesta \$5,000.00. Lo anterior, desde el punto de vista sanitario y comercial, es relativamente bajo, ya que en el caso de frutas y hortalizas el costo de producción por hectárea, rebasa en la mayoría de los casos los \$100,000.00, por lo cual, no debe ser muy complicado para el agricultor absorber dicho costo, tomando en cuenta las ventajas que tendría su producto en el mercado.

CONCLUSIONES

La producción de frutas y hortalizas en México es muy importante desde el punto de vista social y económico. Ofrece empleo a mucha gente que vive en el campo y genera un gran valor económico en su producción. Actualmente, las frutas y hortalizas, son productos que captan mayor cantidad de divisas en el sector agroalimentario de exportación, estando inclusive en los primeros lugares a nivel mundial. Es importante y necesaria la inclusión del sector hortofrutícola en los programas de apoyo federalizado para inducir en el productor la adopción e implementación de los programas de sanidad e inocuidad alimentaria en México. A través del comercio de alimentos sanos, se fomenta el empleo especializado y generan recursos económicos.

LITERATURA CONSULTADA

- Exportaciones Agroalimentarias. S/F. http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/139/3/RCE_MZO-ABR_2012_Exportaciones.pdf. Consultado el 13 de marzo de 2014
- Evolución de las Exportaciones Agroalimentarias. S/A. <http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/XAGRO2012.pdf> Consultado el 14 de marzo de 2014
- SAGARPA-SENASICA. 2009. Evaluación del Programa de Buenas Prácticas Agrícolas. <http://www.senasica.gob.mx/?doc=3790> Consultado el 21 de enero de 2015.
- SAGARPA-FAO. 2005. Evaluación Alianza para el Campo 2004. Informe de Evaluación Nacional, Subprograma de Inocuidad de Alimentos. http://www.aguascalientes.gob.mx/sedrae/see/info-nacionales/NAL_INOCUIDAD_2004.pdf Consultado el 12 de octubre de 2015
- SENASICA. 2008. Lineamientos de buenas Prácticas Agrícolas y Buenas Prácticas de Manejo en los Procesos de producción de Frutas y Hortalizas para Consumo Humano en Fresco. <http://www.senasica.gob.mx/?doc=3790> Consultado el 21 de enero de 2015.
- Siller C. J.H. S/A. IV Situación Actual de la Industria Hortofrutícola en México. Centro de Investigación y Desarrollo, A.C. http://www.uaaan.mx/postgrado/images/files/hort/simposio3/Ponencia_04.pdf Consultado el 13 de marzo de 2014

CURSO INTERNACIONAL

AUTOMATIZACIÓN Y USO DE **BIORREACTORES** PARA LA **MICROPROPAGACIÓN COMERCIAL DE PLANTAS**

Embriogénesis somática: desafíos y oportunidades

DEL 11 AL 14 DE SEPTIEMBRE DE 2018

DURACIÓN: 30 horas • TIPO: Teórico-Práctico

**SEDE:
Colegio de Postgraduados | Campus Córdoba**

Costo por participante | Estudiantes
\$ 7,000.00 M.N. | \$3,500.00 M.N.



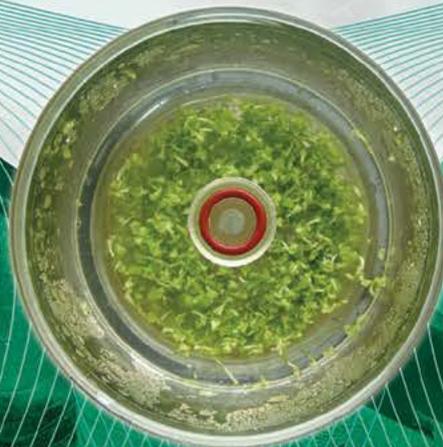
INFORMES:

Dr. Fernando C. Gómez Merino • Dr. Jericó J. Bello Bello

Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba
Carretera Federal Córdoba-Veracruz km 348,
Amatlán de los Reyes, Veracruz, C.P. 94946, México

Correo: cursobiorreactores@gmail.com

Tel: (+52) 01 271 71 6 60 55 y 00
Móvil: 271 105 85 06



Laboratorio de Cultivo
de Tejidos Vegetales

INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA SUSTENTABLE

PROGRAMA DE MAETRÍA EN CIENCIAS

Objetivo

Formar talento humano con conocimiento de vanguardia en los procesos de producción, transformación y comercialización, que cuenten con habilidades y actitudes pertinentes, que les permitan contribuir al desarrollo e innovación tecnológica, socioeconómica y ambiental de los sistemas agroalimentarios, bajo una perspectiva sustentable.

Perfil de ingreso

El aspirante a la Maestría en Ciencias en Innovación Agroalimentaria Sustentable debe tener estudios concluidos de licenciatura o ingeniería en las áreas de agronomía, biología, veterinaria, agroindustria, alimentos, química, maquinaria, estadística, economía, psicología, sociología, administración y carreras afines.



Lineas del Conocimiento (LGAC)

Las líneas de investigación del programa de Maestría en Ciencias en Innovación Agroalimentaria Sustentable se dividen en tres ejes principales:

1 Eficiencia y sustentabilidad en la producción primaria en sistemas agroalimentarios

2 Innovación y desarrollo de procesos agroalimentarios para el bienestar social

3 Comercialización y competitividad agroalimentaria con responsabilidad social y ambiental



Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
Programa Nacional de
Posgrados de Calidad (PNPC)

Becas

Contamos con becas del Programa Nacional de Posgrado de Calidad (PNPC) del CONACYT

Informes

Subdirección de Educación del
Campus Córdoba
☎ 01(271) 716 60 00 / 57 / 55 Ext. 114
✉ admision_cordoba@colpos.mx

Los requisitos de ingreso y formatos de admisión pueden ser obtenidos en la página web oficial
www.colpos.mx/posgrado/ias/index.php
www.colpos.mx

📍 Colegio de Postgraduados Campus Córdoba
📘 Maestría en Ciencias en Innovación Agroalimentaria Sustentable
✉ mcinnovaciones@colpos.mx
📍 Colegio de Postgraduados / Campus Córdoba
km 348 / Carr. Federal Córdoba-Veracruz
Amatlán de Los Reyes, Ver. / CP 94946