



Review [Revisión]

LOS ACEITES ESENCIALES EN LOS PEQUEÑOS RUMIANTES Y SU EFECTO SOBRE LA PRODUCTIVIDAD †

[ESSENTIAL OILS IN SMALL RUMINANTS AND THEIR EFFECT ON PRODUCTIVITY]

D. Y. Chávez-Soto¹, J. F. Vázquez-Armijo², J. Hernández-Meléndez¹,
J. C. Martínez-González¹, S. Esparza-Jiménez² and D. López-Aguirre^{1*}

¹ Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Ingeniería y Ciencias, Centro Universitario Adolfo López Mateos, 87149, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. E-mail: dlaguirre@docentes.uat.edu.mx

² Centro Universitario UAEM Temascaltepec, Universidad Autónoma del Estado de México, Km. 67.5 Carr. Fed. Toluca-Tejupilco, 51300, Temascaltepec, Estado de México, México.

* Corresponding author

SUMMARY

Background. An alternative in animal nutrition, to replace the use of synthetic additives, are essential oils, considered additives of vegetable origin. They are bioactive compounds, that have been shown to improve ruminal fermentation, nutrient digestibility, productivity and animal welfare. **Objective.** To review the current knowledge on the benefits of essential oils and their active compounds on ruminal fermentation, as well as the results obtained when using them in small ruminant production. **Methodology.** A search for bibliographic information was carried out using key terms in publications in scientific databases on the Web and electronic journals available on the Internet. **Main findings.** This paper presents the main essential oils used in animal production, their chemical structure and the results obtained from their use in small ruminants. Emphasis is made on the need to know the specific mode of action of each bioactive compound of essential oils, to optimize a dose without causing adverse effects. **Implications.** The limited information from *in vivo* studies on the biokinetics of essential oils in the rumen make it necessary to evaluate the specific mode of action of each bioactive compound, the biokinetics in the animal, as well as the optimal dose. This would provide scientific basis for the prudent and planned management of essential oils as additives commonly used in the feeding of small ruminants. **Conclusions.** Plant-derived essential oils can be useful in improving animal health and welfare, as well as meat and milk quality, and have potential environmental benefits such as mitigating enteric methane and ammonia nitrogen.

Key words: sheep; goat; additives; feed efficiency; ruminal fermentation.

RESUMEN

Antecedentes. Una alternativa en nutrición animal, para sustituir el uso de aditivos sintéticos, son los aceites esenciales, considerados aditivos de origen vegetal. Son compuestos bioactivos, que han demostrado mejorar la fermentación ruminal, la digestibilidad de los nutrientes, la productividad y el bienestar animal. **Objetivo.** Revisar el conocimiento actual sobre los beneficios de los aceites esenciales y sus componentes activos sobre la fermentación ruminal, así como los resultados que se han obtenido al utilizarlos en la producción de pequeños rumiantes. **Metodología.** Se realizó una búsqueda de información bibliográfica empleando términos clave en publicaciones de bases de datos científicas de la web y revistas electrónicas disponibles en internet. **Principales hallazgos.** En el presente trabajo se presentan los principales aceites esenciales utilizados en la producción animal, su estructura química y los resultados obtenidos de su uso en pequeños rumiantes. Se hace énfasis en la necesidad de conocer el modo de acción específico de cada compuesto bioactivo de los aceites esenciales, para optimizar una dosis sin causar efectos adversos. **Implicaciones.** La limitada información de trabajos *in vivo* sobre la biocinética de los aceites esenciales en el rumen, hace necesario evaluar el modo de acción específico de cada compuesto bioactivo, la biocinética en el animal, así como la dosis óptima. Lo cual propiciaría bases científicas para el manejo prudente y planificado de los aceites esenciales como aditivos de uso común en la alimentación de pequeños rumiantes. **Conclusiones.** Los aceites esenciales derivados de plantas pueden ser útiles para mejorar la salud y bienestar animal, así como la calidad de la

† Submitted August 7, 2020 – Accepted March 5, 2021. This work is licensed under a CC-BY 4.0 International License.
ISSN: 1870-0462.

carne y leche, además de posibles beneficios al medio ambiente como la mitigación del metano entérico y nitrógeno amoniacal.

Palabras clave: ovinos; caprinos; aditivos; eficiencia alimenticia; fermentación ruminal.

INTRODUCCIÓN

Los aditivos sintéticos, como los ionóforos, empleados en la producción animal pueden mejorar el rendimiento de los animales y disminuir los costos de producción (Caja *et al.*, 2003; Carro *et al.*, 2006). Sin embargo, este tipo de aditivos, como los antibióticos, causan resistencia bacteriana (Castanon, 2007) y podrían representar un riesgo para la salud animal y humana, por lo que su uso se ha restringido en la Unión Europea desde el año 2006 (OMS, 2005; Calsamiglia *et al.*, 2007; Benchaar *et al.*, 2008; Gruninger *et al.*, 2014). Los compuestos bioactivos, como los aceites esenciales de algunas plantas, se han considerado como aditivos naturales en la alimentación animal, ya que tienen el potencial para mejorar la eficiencia de la fermentación ruminal (Geraci *et al.*, 2012; Salem *et al.*, 2012), así como la salud en general del animal (Cowan, 1999; Greathead, 2003; Amagase, 2006).

Un aceite esencial es una sustancia volátil, con aroma y sabor que se obtiene de las plantas o alguna parte anatómica de ellas (Calsamiglia *et al.*, 2007; Benchaar *et al.*, 2008). En general, son compuestos químicos aromáticos volátiles, que se producen y almacenan en los canales secretores de las plantas y que les sirven como mecanismos de defensa (Angioni *et al.*, 2006; Calsamiglia *et al.*, 2007). Los aceites esenciales son mezclas de metabolitos secundarios, cuyos componentes químicos son de naturaleza variada con distintos modos de acción (Chao *et al.*, 2000; Cardozo *et al.*, 2005); los cuales se pueden obtener por métodos tales como extracción con solventes o destilación por arrastre de vapor (Greathead, 2003).

Algunos efectos benéficos que tienen los aceites esenciales en la producción animal son debido a sus propiedades antimicrobianas y a su potencial para la mitigación del metano entérico. Adicionalmente, se ha observado una mejora en la conversión alimenticia y en el sabor de los alimentos (Botsoglou *et al.*, 2003; Giannenas *et al.*, 2003; Van-Zyl *et al.*, 2006; Betancourt *et al.*, 2012). En rumiantes, los aceites esenciales son capaces de modificar la fermentación en el rumen, lo cual incrementa la disponibilidad de los nutrientes de los alimentos, lo que favorece la producción de carne y leche (Tager y Krause, 2011). Otro uso que se ha dado a estos compuestos, en el ambiente ruminal, es inhibir la metanogénesis (Patra y Saxena, 2010). Sin embargo, Geraci *et al.* (2012) mencionaron que en bovinos de engorda, alimentados con una dieta alta en concentrado, no se modificaron las características de fermentación ruminal al usar como aditivo una mezcla de aceites esenciales (cinamaldehído, eugenol y oleoresina de capsicum).

En ovinos el uso de aceites esenciales de canela, ajo y enebro (200 mg⁻¹ de MS) tuvo efectos en la conversión alimenticia y ganancia de peso, pero no hubo efectos positivos en las variables de calidad de la carne (Chaves *et al.*, 2008).

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue concentrar la producción científica sobre los beneficios de los aceites esenciales y sus componentes activos, sobre la fermentación ruminal y su efecto sobre la productividad de pequeños rumiantes. Esta revisión bibliográfica se realizó durante los meses de agosto 2019 a noviembre 2020, mediante una búsqueda de publicaciones científicas en diversas bases de datos de la web y revistas electrónicas disponibles en internet. En la búsqueda se incluyeron artículos científicos y revisiones bibliográficas, los cuales se obtuvieron al emplear los términos de búsqueda en español o su similar en inglés. Algunos términos empleados fueron: “aceites esenciales”, “pequeños rumiantes”, “fermentación ruminal”. La búsqueda se realizó sin restricción de fecha de publicación, y se seleccionó el material publicado que informara sobre mecanismos de acción, efectos en el rumen y sobre la productividad. Posteriormente, se realizó el estudio y síntesis del material bibliográfico consultado, con el fin de puntualizar de la manera más coherente posible el tema central del documento.

NATURALEZA DE LOS ACEITES ESENCIALES

Los aceites esenciales son utilizados en diversas ramas de la industria, medicina y productos de belleza, debido a que los caracteriza su olor agradable e intenso, formado por una compleja gama de sustancias volátiles con distintos estadios sensoriales para su percepción (Maia, 2005). Pueden encontrarse en diferentes células oleíferas, canales secretorios, en las glándulas o en los tricomas (Dorman y Deans, 2000).

Los aceites esenciales se han usado como aditivos alimenticios en aves (Jamroz *et al.*, 2003; Hernández *et al.*, 2004), cerdos (Fasseas *et al.*, 2007) y rumiantes (Giannenas *et al.*, 2011).

Función

Los aceites esenciales vegetales, son metabolitos secundarios de naturaleza volátil (Gershenzon *et al.*, 1991; Greathead, 2003; Martínez *et al.*, 2006), compuestos por elementos bioactivos lipofílicos y específicos, que proporcionan el olor y sabor característicos a cada planta (Consentino *et al.*, 1999; Basolé y Juliani, 2012). Los aceites esenciales

cumplen la función en las plantas contra factores bióticos y abióticos, así como, atraer polinizadores y/o coadyuvar con la dispersión de semillas (Hammer *et al.*, 1999). Tanto el tipo de aceite esencial como su concentración varían de acuerdo con la especie y el órgano vegetal, sin embargo, algunos autores (Vokou *et al.*, 1993; Burt, 2004; Martínez *et al.*, 2006) mencionan que existen diferencias bioquímicas de estos compuestos entre las regiones geográficas y la temporada de cosecha, de tal manera que, se puede presentar variabilidad en la efectividad del compuesto y en la composición bioquímica del metabolito, incluso en individuos de la misma especie.

Estructura química

Los aceites esenciales se caracterizan por contener dos o tres compuestos principales presentes en mayor proporción (Tabla 1) (Bakkali *et al.*, 2008).

Los monoterpenos son las moléculas más representativas de los aceites esenciales, constituyen cerca del 90 % (Bodas *et al.*, 2012), en comparación con los terpenoides y fenilpropanoides, que son los menos abundantes (Patra y Saxena, 2010). Los terpenos forman diferentes clases estructurales y funcionales, y cuando se asocian con el oxígeno se llaman terpenoides o isoprenoides (Benchaar *et al.*, 2007; Chaves *et al.* 2008). Los terpenoides se denominan así porque se derivan de una estructura básica de 5 carbonos (C₅H₈), comúnmente denominada unidad isopreno. El isopentenilo, difosfato y dimetilamina difosfato, se constituyen principalmente por terpenos y pertenecen al grupo de los terpenoides (Patra, 2012). Estos se sintetizan con el ciclo de ácido cítrico intermediario acetyl-CoA (vía del mevalonato) (Derwick, 2002).

Otros compuestos menos comunes son los fenilpropanoides, pero algunas de las plantas contienen cantidades elevadas, que son sintetizados por la vía metabólica de ácido shikímico, a partir de este se sintetizan triptófano, fenilalanina y tirosina (aminoácidos aromáticos) que actúan como alelopáticos (Sangwan *et al.*, 2001).

MECANISMOS DE ACCIÓN ANTIMICROBIANOS

Los aceites esenciales presentan extensos beneficios en la salud, tanto humana como animal, por su actividad antioxidante e inactivación de los radicales libres (Calsamiglia *et al.*, 2007). Estos compuestos pueden inhibir el proceso de peroxidación en la membrana lipídica y acelera las actividades enzimáticas y

antisépticas (Burt, 2004; Calsamiglia *et al.*, 2007; Pauli y Schilcher, 2010).

Los aceites esenciales más estudiados son los obtenidos del tomillo (*Thymus vulgaris*), orégano (*Origanum vulgare*), clavo de olor (*Syzygium aromaticum*), canela (*Cinnamomum verum*), romero (*Rosmarinus officinalis*), eneldo (*Anethum graveolens*), eucalipto (*Eucalyptus globulus*), ajo (*Allium sativum*) y anís (*Pimpinella anisum*) (Calsamiglia *et al.*, 2007). El tomillo y el orégano están compuestos principalmente por monoterpenos fenólicos, el timol y el carvacrol se conocen por su fuerte actividad antimicrobiana, ya que presentan un grupo hidroxilo en su estructura (Calsamiglia *et al.*, 2007; Benchaar y Greathead, 2011).

Panizzi *et al.* (1993) registraron que existe actividad alelopática de los aceites esenciales contra múltiples microorganismos, entre los cuales se encuentran bacterias Gram positivas y negativas. Esta actividad se atribuye a la presencia de diversos compuestos fenólicos y a los terpenoides (Panizzi *et al.*, 1993; Helander *et al.*, 1998).

Los terpenoides y fenilterpenoides realizan su acción contra bacterias Gram positivas, se acumulan en la doble capa lipídica de la bacteria y ocupan espacios entre las cadenas de los ácidos grasos, cambian la morfología estructural de la membrana y como resultado causan fluidificación y expansión del microorganismo (Sikkema *et al.*, 1999; Griffin *et al.*, 1999). La pérdida de la permeabilidad de la membrana causa pérdidas de iones, lo que causa un decreciente gradiente iónico transmembrana, y aunque la bacteria puede contrarrestar estos efectos, el costo energético es elevado provocando su muerte o un crecimiento lento (Griffin *et al.*, 1999; Ultee *et al.*, 1999). Burt (2004) menciona que las bacterias Gram positivas son más susceptibles a las propiedades antimicrobianas de los aceites esenciales en comparación con las Gram negativas, ya que las bacterias Gram negativas tienen una capa externa en la membrana celular que actúa como barrera de permeabilidad, limitando el acceso a compuestos hidrofóbicos.

Otros efectos antimicrobianos son la capacidad de coagular algunos componentes de la membrana celular mediante procesos de desnaturalización de proteínas y actividad en enzimas. La alicina es un ejemplo, interactúa con proteínas y aminoácidos que contienen grupos sulfhídricos (-SH), mecanismo asociado al dialil-sulfuro que contiene la alicina (Prescott *et al.*, 2004; Münchberg *et al.*, 2007).

Tabla 1. Especie y parte de la planta de la cual se obtienen algunos aceites esenciales y sus principales componentes bioactivos.

Especie	Parte de la planta	Principal componente
Angélica (<i>Angelica archangelica</i> L.)	Raíz	α -Pino (24.7%) δ -3-Caren (10.5%) α -Felandreno + mirceno (10.8%) Limoneno (12.9%) β -Felandreno (10.4%) ρ -Cimeno (7.7%)
Canela (<i>Cinnamomum zeylanicum</i> Blu)	Corteza interior	(<i>E</i>)-Cinamaldehído (77.1%) Eugenol (7.2%)
Cilantro (<i>Coriandrum sativum</i> L.)	Semillas	ρ -Cimeno (6.1%) Linalool (72%)
Eneldo (<i>Anethum sowa</i> Roxb)	Semillas	Limoneno (50.9%) <i>Trans</i> -Dihidrocarvona (10.4%) Carvona (20.3%) Dillapiole (36.6%)
Eucalipto (<i>Eucalyptus citriodora</i> K. D. Hill)	Hojas	Citronelal (72.8%) Citronelol (14.1%)
Jengibre (<i>Zingiber officinale</i> Rosc.)	Raíz	Canfeno (14.1%) Geranial (4.9%) Geranial + acetato de bornilo (8.1%) β -Bisaboleno (22.1%) <i>ar</i> -Curcumeno (14.5%) β -Eudesmol (5.4%)
Enebro (<i>Juniperus communis</i> L.)	Bayas	α -Pino (33.7%) Sabinena (27.6%) Mirceno (5.5%)
Naranja (<i>Citrus sinensis</i> L. Osbeck)	Cáscara	Limoneno (91.5%)
Pimienta (<i>Piper nigrum</i> L.)	Fruto	α -Pino (9.0%) β -Pino (10.4%) Sabinena (19.4%) δ -3-Careno (5.4%) Limoneno (17.5%) β -cariofileno (14.7%)
Árbol de té (<i>Maleleuca alternifolia</i> L.)	Rama	α -Terpineno (10.4%) 1,8-Cineola (5.1%) Terpineno-4-ol (40.1%) ϕ -Terpineno (23%)

Adaptado de Chao *et al.* (2000) y Benchaar *et al.* (2008).

EFFECTO SOBRE LA FERMENTACIÓN RUMINAL

Los aceites esenciales son capaces de modificar la fermentación ruminal, y mejorar el aprovechamiento de los nutrientes de los alimentos, lo que representa una opción para mejorar la eficiencia productiva.

Efecto sobre microbiota ruminal

La población ruminal es esencial para los rumiantes por la capacidad que tienen de utilizar un alimento de baja calidad y convertirlo en proteína de alta calidad. El rumen es un hábitat que contiene por lo menos 50 géneros de bacterias (10^{10} - 10^{11} células ml^{-1}), 25 géneros de protozoarios ciliados (10^4 - 10^6 células ml^{-1}), seis géneros de hongos (10^3 - 10^5 zoosporas ml^{-1}), algunas archaeas metanogénicas (10^9 células ml^{-1}) y bacteriófagos (10^8 - 10^9 células ml^{-1}) (Patra, 2012; Gruninger *et al.*, 2014).

Los aceites esenciales inhiben a las bacterias productoras de nitrógeno amoniacal, disminuyendo la desaminación de los aminoácidos, principalmente en dietas que contienen cantidades no tan altas de proteína (Wallace, 2004; Patra y Saxena, 2009). Se observó que $90 \mu\text{g ml}^{-1}$ de timol inhibe el crecimiento de *Selemononas ruminantium* pero no de *Selemononas bovis*. Los aceites esenciales son efectivos para reducir gran cantidad de metanógenos, pero también afectan a las bacterias celulolíticas como *Fibrobacter succinogenes*, *Ruminococcus albus*, *Ruminococcus flavefaciens* (Evans y Martín, 2000). La utilización de 0.33 ml l^{-1} de aceite de menta demostró una disminución del 20 % de la producción de metano, sin afectar la producción de ácidos grasos volátiles. Un mejor entendimiento de la relación entre metanógenos y otras poblaciones de microorganismos ruminales pueden ayudar a mejorar la función del rumen sin afectar la productividad (Agarwal *et al.*, 2009).

Patra y Yu (2015) observaron el efecto de los aceites esenciales en la comunidad bacteriana ruminal, el cual era dependiente de la naturaleza química del aceite esencial utilizado. Compuestos con estructura fenólica, como el aceite de orégano, demostraron una actividad bacteriana más significativa que otros aceites esenciales sobre la disminución de *Firmicutes*, *Clostridia* y el género *Butyrivibrio*.

Ando *et al.* (2003) reportaron una disminución en el número total de protozoarios ruminales, incluyendo *Entodinium*, *Isotrica* y *Diplodinium* en líquido ruminal de novillos suplementados con 200 g d^{-1} de menta secada al sol (54 g kg^{-1} de consumo de MS). Cerca del 25 % de los metanógenos ruminales están asociados con los protozoarios (Newbold *et al.*, 1995), y parte del efecto antimetanogénico del aceite de menta se debe a la actividad antiprotozoaria.

En un estudio realizado por Agarwal *et al.* (2009), el número de metanógenos incrementó con una dosis más baja (0.33 ml l^{-1}) de aceite de menta, lo que contradice esta reducción de la producción de metano. No obstante, a dosis más altas, ($1-2 \text{ ml l}^{-1}$) se reduce el número de metanógenos.

Efecto sobre la fermentación, ácidos grasos volátiles y digestibilidad

El efecto que los aceites esenciales tiene sobre la digestibilidad ruminal del alimento es debido a que reduce la degradación ruminal de la proteína al inhibir el crecimiento de bacterias proteolíticas, además de que reduce la degradación del almidón como respuesta a la inhibición de microbiota amilolítica (Hart *et al.*, 2008).

Se ha observado un efecto de los aceites esenciales en una disminución mínima de la concentración de ácidos grasos volátiles (AGV), sin embargo, al utilizar concentraciones elevadas de aceites esenciales la disminución de estos se vuelve significativa (Chaves *et al.*, 2008; Macheboeuf *et al.*, 2008; Malecky *et al.*, 2009). La disminución o aumento depende del tipo de aceite esencial y dosis específica, por ejemplo, con la inclusión de cinamaldehído a dosis de 200 mg kg^{-1} de MS y 250 mg kg^{-1} de MS de aceite de orégano se reportaron aumentos en la producción de AGV (Wang *et al.*, 2009). El uso de combinaciones de timol, limoneno y guayacol (a dosis de 1.5 ml l^{-1}) también ha reportado incrementos en la concentración de AGV (Castillejos *et al.*, 2005). El poco cambio en la concentración de AGV totales puede ser deseable si se acompaña otros cambios como la disminución de nitrógeno amoniacal, la disminución de producción de metano, o un cambio en las proporciones molares de los AGV, sin embargo, puede ser nutricionalmente desfavorable si se llegará a observar una reducción de la producción total de AGV al utilizar aceites esenciales como aditivo en las dietas de rumiantes (Benchaar *et al.*, 2008).

Dosis altas de aceites esenciales disminuyen la digestibilidad de la MS, atribuible a la disminución de la digestibilidad de la fibra a nivel ruminal (Beauchemin y McGinn, 2006). Benchaar *et al.* (2007) observaron una disminución en la actividad de las enzimas carboximetil-celulasa y xilasa, con extractos de clavo e hinojo en altas concentraciones.

Efecto sobre el metabolismo del nitrógeno

La mayoría del amoníaco del rumen (cerca del 50 %) es producido por un grupo de bacterias denominadas bacterias hiper productoras de amoníaco, las cuales representan solo el 1 % de la población microbiana ruminal (Russell *et al.*, 1991). La producción de amoníaco representa no solo una pérdida de nitrógeno

de la dieta, si no también una fuente de contaminación, porque la tasa de producción de amoníaco excede la asimilación microbiana en el rumen. La disminución de este tipo de bacterias puede llevar a la reducción de la producción de amoníaco en el rumen (Patra, 2012). Por tanto, se puede realizar la mitigación de nitrógeno excesivo que es excretado por los rumiantes con la utilización de aditivos que afecten el metabolismo del nitrógeno en el rumen, como la degradación de proteína cruda, la eficiencia de la síntesis de proteína microbiana y el flujo del nitrógeno de la dieta del rumen al duodeno (Moss *et al.*, 2000; Wallace *et al.*, 2002).

En estudios *in vitro* Busquet *et al.* (2006) reportaron una disminución de nitrógeno amoniacal (15.5 a 7.8 mg dl⁻¹) con dosis de 0.3 a 3000 mg l⁻¹ de aceite de canela. Sin embargo, Wallace *et al.* (2002) informaron que los aceites esenciales sólo tuvieron un efecto significativo en la descomposición de proteínas de origen vegetal. Las actividades de las proteinasas y amilasas bacterianas asociadas a los suplementos proteicos vegetales tendieron a ser menores, mientras que las actividades correspondientes asociadas a suplementos proteicos de origen animal no se vieron afectadas. Estos datos sugieren que los aceites esenciales pueden suprimir la colonización y/o la digestión de sustratos fácilmente degradables.

Dado que las especies de las bacterias hiper-productoras de amoníaco varían de una dieta a otra y tal vez geográficamente (McSweeney *et al.*, 1999), puede ser importante examinar con más detalle toda la gama de estas bacterias afectadas; también es importante identificar cuál de los múltiples componentes de los aceites esenciales es responsable del efecto.

Efecto sobre la producción de metano entérico

La mitigación de metano entérico sin disminuir la digestibilidad o la fermentación ruminal es un desafío dentro de la nutrición animal (Wang *et al.*, 2009). El metano es un potente gas de efecto invernadero, el 37 % de las emisiones de metano antropogénico global son causadas por la ganadería (Steinfeld *et al.*, 2006; Benchaar *et al.*, 2008). Las archaeas metanogénicas producen metano mediante la reducción bioquímica del dióxido de carbono con hidrógeno, como resultado del metabolismo fermentativo de las bacterias productoras de H₂, hongos anaeróbicos y protozoarios ciliados (Bodas *et al.*, 2012). En el rumen la mayoría de los metanógenos pertenecen al género *Methanobrevibacter* y *Methanosarcina* (Patra, 2012). Uno de los principales compuestos bioactivos del clavo de olor y de la canela (85 % y 8 % respectivamente) es el eugenol, el cual tiene un amplio espectro antimicrobiano contra bacterias Gram positivas y Gram negativas con efectos positivos sobre

la fermentación ruminal (Calsamiglia *et al.*, 2007). Ohene- Ohene-Adjei *et al.* (2008) demostraron que la adición de cinamaldehído, principal compuesto bioactivo de la canela, en una dieta basada en cebada (0.02 g kg⁻¹) no afecta el total del número de archaeas metanogénicas en borregos. El análisis filogenético indicó que la suplementación inhibió a *M. ruminantium*. Contrastantemente, *Methanosphaera stadtmanae*, *M. smithii* incrementaron en los tratamientos suplementados. Se sugiere que los aceites esenciales incrementaron la distribución filogenética de las archaeas metanogénicas, debido a cambios que están asociados con algunas especies de protozoarios.

Un estudio *in vivo*, de Wang *et al.* (2009), demostró que la inclusión de 0.25 g d⁻¹ de una mezcla de aceites esenciales de plantas de orégano, en una dieta para ovinos por 15 días, disminuyó el metano, mientras que en otro estudio *in vivo*, de Beauchemin y McGinn (2006), en ganado bovino de carne con 1 g d⁻¹ por 21 días no revelaron ningún efecto significativo en la metanogénesis, lo cual pudo ser producto de la utilización de bajas dosis de aceites esenciales en la dieta.

Evans y Martin (2000) observaron que el timol (400 mg l⁻¹), principal compuesto de las plantas *Thymus* y *Origanum*, es un fuerte inhibidor de metano *in vitro*, sin embargo, la concentración de acetato-propionato también disminuye.

La inclusión de aceite de menta, a una concentración de 0.33 ml l⁻¹, en un estudio de producción de gas *in vitro*, incrementó el número de metanógenos, sin embargo, se presentó un descenso del 20 % en la producción de metano sin afectar la producción de AGV. Dosis altas (1-2 ml l⁻¹) de aceite de menta disminuyeron las poblaciones de metanógenos y la producción de metano (Ohene-Adjei *et al.*, 2008).

Busquet *et al.* (2005) reportaron que el aceite de ajo y el dialil disulfuro (300 mg l⁻¹ de líquido ruminal) disminuyeron la producción de metano 74 y 69 %, respectivamente, sin alterar la digestibilidad. La monensina sódica utilizada como testigo no redujo la producción de metano en la misma proporción como el aceite de ajo o el dialil disulfuro. El principal componente activo del aceite de canela es el cinamaldehído, el cual a dosis de 660 mg l⁻¹, disminuye la producción de metano hasta en un 94 % (Macheboeuf *et al.*, 2008). El aceite de eucalipto inhibe la producción de metano en un 58 % con dosis de 1.66 ml l⁻¹ (Kumar *et al.*, 2009) y el aceite de α -ciclodextrina-eucalipto en un 70 % a 330 mg l⁻¹ (Bhatti *et al.*, 2007). Yang *et al.* (2007) concluyeron que la dosis de 25 mg d⁻¹ de aceites esenciales de orégano, en ovinos durante 15 días, disminuye la producción de metano. No obstante, en otros estudios se ha encontrado que la inhibición de metano, utilizando

aceites esenciales puede ser contraproducente, ya que se requiere una dosificación muy alta para que estos tengan efecto, y existe una amplia variabilidad en el modo de acción, lo cual hace que sea difícil corroborar la actividad enzimática dentro del rumen (Burt, 2004). Benchaar y Greathead (2011) mencionan que, al utilizarse los aceites esenciales, puede existir un desbalance por la inhibición de la producción de AGV totales y la digestibilidad del alimento, lo cual se traduce en baja eficiencia alimenticia.

EFFECTO SOBRE EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE PEQUEÑOS RUMIANTES

Los beneficios de la inclusión de aceites esenciales, sobre la digestibilidad del alimento, ocurren principalmente por la reducción de la degradación de la proteína en el rumen, al inhibir la proliferación de bacterias productoras de nitrógeno amoniacal y la reducción de la degradación de almidones como respuesta a la inhibición de microorganismos amilolíticos, favoreciendo en cantidad el flujo de estos dos nutrientes al intestino (Hart *et al.*, 2008).

La respuesta de la adición de aceites esenciales en dietas para rumiantes sobre el consumo depende también del tipo de aceite esencial y la dosis (Beauchemin *et al.*, 2006). Estudios realizados con 250 mg día⁻¹ de aceite de orégano en ovinos (Wang *et al.*, 2009) y 43 o 430 mg kg⁻¹ de MS en cabras (Malecky *et al.*, 2009) no mostraron diferencias significativas en el consumo de materia seca. Sin embargo, en estudios con dosis alta de cinamaldehído, en vacas productoras de leche (van Zijderveld *et al.*, 2011), y una mezcla de cinamaldehído-eugenol, en bovinos productores de carne (Cardozo *et al.*, 2006), se observó que el consumo de alimento fue afectado, lo cual se atribuye a la palatabilidad que adquieren los diferentes tipos de alimentos para el ganado cuando se les adicionan cantidades altas de aceites esenciales.

En ovinos, el uso de aceites esenciales de canela, ajo y enebro, en una proporción de 200 mg kg⁻¹ de MS tuvo efectos en la conversión alimenticia y ganancia de peso (incremento de 36 g día⁻¹), en comparación con los animales a los que no les fueron administrados. En la calidad de carne no se presentaron efectos positivos al proporcionar los aceites esenciales, es decir, la jugosidad, terneza y sabor no se modificaron (Chaves *et al.*, 2008). Bampidis *et al.* (2005) en un trabajo con corderos en crecimiento alimentados con dietas suplementadas con aceite de orégano (144 o 288 mg kg⁻¹ MS) no observaron cambios en ganancia diaria de peso. La suplementación de corderos con aceites esenciales de romero (independientemente de la dosis o la forma de administración) no produjo cambios en la composición química de y propiedades físicas de la carne (Smeti *et al.*, 2018).

Ginnenas *et al.* (2011) reportaron un aumento de hasta de 2.119 l día⁻¹ en la producción de leche al agregar en el alimento de ovejas aceites esenciales comerciales (Crina Ruminants, DSM Nutritional Products) a una dosis de 100 a 150 mg kg⁻¹ de MS por animal. Kholif *et al.* (2018) reportaron un efecto sinérgico en la mezcla de aceites esenciales de capsicum/tomillo y enzimas exógenas sobre la composición de ácidos grasos y la producción de leche en ovejas. Sin embargo, en un trabajo con vacas lecheras Santos *et al.* (2010) concluyeron que el aumento de la síntesis de grasa en leche podría ser el resultado de un cambio energético alejado de la ganancia de condición corporal por que la alimentación con aceites esenciales no afectó la digestibilidad de los nutrientes. La inclusión de un 2% de aceite de acaí en la dieta, de ovejas lecheras bajo estrés por calor, mejora la salud de los animales, en consecuencia, incrementa el rendimiento de la leche (Dos Santos *et al.*, 2019).

CONCLUSIONES

Los aceites esenciales derivados de plantas pueden ser útiles para mejorar la eficiencia alimenticia en pequeños rumiantes, la salud y bienestar animal, así como la calidad de la carne y leche. Existen otros posibles beneficios al medio ambiente por la utilización de esenciales, como la mitigación del metano entérico y reducir la producción de gases de efecto invernadero, no solo metano, sino también nitrógeno amoniacal, que tienen como origen la producción de rumiantes. Sin embargo, se necesitan más evaluaciones para conocer el modo de acción específico de cada compuesto bioactivo, la biocinética en el animal, así como la dosis óptima para que pueda ser utilizado como aditivo zootécnico.

Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT-México) por la beca de maestría otorgada al primer autor.

Financiamiento. El primer autor recibió una beca del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT-México) para sus estudios de posgrado. Se declara que los costos fueron financiados por los autores.

Conflicto de intereses. Los autores declaran que no hay conflicto de intereses.

Cumplimiento de estándares de ética. No aplica.

Disponibilidad de datos. No aplica.

REFERENCIAS

Agarwal, N., Shekhar, C., Kumar, R., Chaudhary, L.C., Kamra, D.N. 2009. Effect of peppermint

- (*Mentha pipertia*) oil on *in vitro* methanogenesis and fermentation of feed with buffalo rumen liquor. *Animal Feed and Science Technology*. 148: 321-327. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2008.04.004.
- Ando, S., Nishida, T., Ishida, M., Hosoda, K., Bayaru, E. 2009. Effect of peppermint feeding on the digestibility, ruminal fermentation and protozoa. *Livestock Production Science*. 82: 245-248. DOI: 10.1016/S0301-6226(03)00012-5.
- Angioni, A., Barra, A., Coroneo, V., Dessi, S., Cabras, P. 2006. Chemical composition, seasonal variability, and antifungal activity of *Lavandula stoechas* L. ssp. *stoechas* essential oils from stem/leaves and flowers. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 54:4364-4370. DOI: 10.1021/jf0603329.
- Amagase, H. 2006. Clarifying the Real Bioactive Constituents of Garlic. *The Journal of Nutrition*. 136:716-725. DOI: 10.1093/jn/136.3.716S.
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., Idaomar, M. 2008. Biological effects of essential oils – A review. *Food and Chemical Toxicology*. 46:446-475. DOI: 10.1016/j.fct.2007.09.106.
- Bampidis, V.A., Christodoulou, V., Florou-Paneri, P., Christaki, E., Spais, A. B., Charzopoulou, P.S. 2005. Effect of dietary oregano dried leaves supplementation on performance and carcass characteristics of growing lambs. *Animal Feed Science and Technology*. 121: 285-295. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2005.02.002.
- Bassolé, I.H., Juliani, H.R. 2012. Essential oils in combination and their antimicrobial properties. *Molecules*. 4: 3989-4006. DOI: 10.3390/molecules17043989.
- Benchaar, C., Greathead, H. 2011. Essential oils and opportunities to mitigate enteric methane emissions from ruminants. *Animal Feed Science Technology*. 167: 338-355. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2011.04.024.
- Benchaar, C., Calsamiglia, S., Chaves, A.V., Fraser, G.R., Colombatto, D., McAllister, T. A., Beauchemin, K.A. 2008. A review of plant-derived essential oils in ruminants nutrition and production. *Animal Feed Science Technology*. 145:209-228. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2007.04.014.
- Benchaar, C., Chaves, A.V., Fraser, G.R., Beauchemin, K.A., McAllister, T.A. 2007. Effects of essential oils and their components on *in vitro* rumen microbial fermentation. *Canadian Journal of Animal Science*. 87:413-419. DOI: 10.4141/CJAS07012.
- Betancourt, L.L., Ariza, N.C., Díaz, G.G., Afanador, T.G. 2012. Efecto de diferentes niveles de aceites esenciales de *Lippia origanoides* kunth en pollos de engorde. *MVZ Córdoba*. 17:3033-3040. DOI: 10.21897/rmvz.238.
- Beauchemin, A.K., McGinn, S.M. 2006. Methane emissions from beef cattle: effects of fumaric acid, essential oil, and canola oil. *Journal of Animal Science*. 84:1489-1496. DOI: 10.2527/2006.8461489x.
- Bhatti, H.Q., Iqbal, Z., Chatha, S.A.S, Bukhari, I. H. 2007. Variations in oil potential and chemical composition of *Eucalyptus crebra* among different districts of Punjab-Pakistan. *International Journal of Agriculture and Biology*. 9:136-138.
- Bodas, R., Prieto, N., García-González, R., Andrés, S., Giráldez, F.J., López, S. 2012. Manipulation of rumen fermentation and methane production with plant secondary metabolites. *Animal Feed Science Technology*. 176:78-93. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2012.07.010.
- Botsoglou, N.A., Gringoropoulou, S.H., Botsoglou, E., Govaris, A.G., Papageorgiou, G. 2003. The effects of dietary oregano essential oil and atocopheryl acetate on lipid oxidation in raw and cooked turkey during refrigerated storage. *Meat Science*. 65:1193-1200. DOI: 10.1016/S0309-1740(03)00029-9.
- Burt, S. 2004. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods- A review. *International Journal of Food Microbiology*. 94:223-253. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022.
- Busquet, M., Calsamiglia S., Ferret, A., Kamel, C. 2005. Screening for effects of plant extracts and active compounds of plants on dairy cattle rumen microbial fermentation in a continuous culture system. *Animal Feed Science and Technology* 123:597-613. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2005.03.008.
- Busquet, M., Calsamiglia, S., Ferret, A., Kamel, C. 2006. Plant extracts affect *in vitro* rumen microbial fermentation. *Journal of Dairy Science*. 89:761-771. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(06)72137-3.
- Caja, G., González, E., Flores, C., Carro, M.D., Albanell, E. 2003. Alternativas a los antibióticos de uso alimentario en rumiantes: probióticos, enzimas y ácidos orgánicos. En: XIX Curso de Especialización FEDNA. Madrid. pp: 183-212.

- Calsamiglia, S., Busquet, M., Cardozo, P.W., Castillejos, L., Ferret, A. 2007. Invited Review: Essential oils as modifiers of rumen microbial fermentation. *Journal of Dairy Science*. 90:2580-2595. DOI: 10.3168/jds.2006-644.
- Castillejos, L., Calsamiglia, S., Ferret, A., Losa, R. 2005. Effects of a specific blend of essential oil compounds and the type of diet on rumen microbial fermentation and nutrient flow from a continuous culture system. *Animal Feed Science Technology*. 119:29-41. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2004.12.008.
- Cardozo, P.W., Calsamiglia, S., Ferret, A., Kamel, C. 2005. Screening for the effects of natural plant extracts at different pH on *in vitro* rumen microbial fermentation of a high-concentrate diet for beef cattle. *Journal of Animal Science*. 83:2572-2579. DOI: 10.2527/2005.83112572x.
- Cardozo, P.W., Calsamiglia, S., Ferret, A., Kamel, C. 2006. Effects of alfalfa extract, anise, capsicum and mixture of cinnamaldehyde and eugenol on ruminal fermentation and protein degradation in beef heifers fed a high-concentrate diet. *Journal of Animal Science*. 84:2801-2808. DOI: 10.2527/jas.2005-593.
- Carro, M.D., Ranilla, M.J., Tejido, M.L. 2006. Utilización de aditivos en la alimentación del ganado ovino y caprino. Sitio Argentino de Producción Animal. En: Ponencia presentada en las XXXI Jornadas científicas de la SEOC. Zamora. 26-37.
- Castanon, J.I.R. 2007. History of the use of antibiotics as growth promoters in European poultry feeds. *Poultry Science*. 86:2466-2471. DOI: 10.3382/ps.2007-00249
- Chao, S.C., Young, D.C., Oberg, C.J. 2000. Screening for inhibitory activity of essential oils on selected bacteria, fungi and viruses. *Journal of Essential Oil Research* 12:639-649. DOI: 10.1080/10412905.2000.9712177.
- Chaves, A.V., He, M.L., Yang, W.Z., Hristov, A.N., McAllister, T.A., Benchaar, C. 2008. Effects of essential oils on proteolytic, deaminative and methanogenic activities of mixed ruminal bacteria. *Canadian Journal of Animal Science*. 88:117-122. DOI: 10.4141/CJAS07061.
- Consentino, S., Tuberoso, C., Pisano, B., Satta, M., Mascia, V., Arzedi, E. Palmas F. 1999. *In vitro* antimicrobial activity and chemical composition of Sardinian *Thymus* essential oil. *Letters in Applied Microbiology*. 29:130-135. DOI: 10.1046/j.1472-765X.1999.00605.x.
- Cowan, M. 1999. Plant products as antimicrobial agents. *Clinical Microbiology. Reviews*. 12:564-582. DOI: 10.1128/CMR.12.4.564.
- Derwick, P.M. 2002. The biosynthesis of C₅-C₂₅ terpenoid compounds. *Natural Product Reports* 19:181-222. DOI: 10.1039/b002685i.
- Dorman, H.J.D., Deans, S.G. 2000. Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. *Journal of Applied Microbiology*. 88:308-316. DOI: 10.1046/j.1365-2672.2000.00969.x.
- Evans, J.D., Martin, S.A. 2000. Effects of thymol on ruminal microorganisms. *Current Microbiology*. 41:336-340. DOI: 10.1007/s002840010145.
- Fasseas, M.K., Mountzouris, K.C., Tarantilis, P.A., Polissiou, M., Zervas, G. 2007. Antioxidant activity in meat treated with oregano and sage essential oils. *Food Chemistry*. 106:1188-1194. DOI: 10.1016/j.foodchem.2007.07.060.
- Geraci, J.I., Garcarena, A.D., Gagliorostro, G.A., Beauchemin, K.A., Colombatto, D. 2012. Plant extracts containing cinnamaldehyde, eugenol and capsicum oleoresin added to feedlot cattle diets: Ruminal environment, short term intake pattern and animal performance. *Animal Feed Science and Technology*. 176:123-130. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2012.07.015.
- Gershenzon, J., Croteau, R. Terpenoids in herbivores: their interactions with secondary plant metabolites. 1991. Rosenthal G.A., Berenbaum M.R. Editors. San Diego, CA: Academic Press. 1:165-219.
- Giannenas, I., Florou-Paneri, P., Papazahariadou, M., Christaki, E., Botsoglou, N., Spais, A. B. 2003. Dietary oregano essential oil supplementation on performance of broilers challenged with *Eimeria tenella*. *Archives of Animal Nutrition*. 57:99-106. DOI: 10.1080/0003942031000107299.
- Giannenas, I., Skoufos, J., Giannakopoulos, C., Wiemann, M., Gortzi, O., Lalas, S., Kyriazakis, I. 2011. Effects of essential oils on milk production, milk composition, and rumen microbiota in Chios dairy ewes. *Journal of Dairy Science*. 94:5569-5577. DOI: 10.3168/jds.2010-4096.
- Greathead, H. 2003. Plant and plant extract for improving animal productivity. *Proceedings*

- of the Nutrition Society. 62:279-290. DOI: 10.1079/PNS2002197.
- Griffin, S.G., Wyllie, S.G., Markham, J.L., Leach, D.N. 1999. The role of structure and molecular properties of terpenoids in determining their antimicrobial activity. *Flavour and Fragrance Journal*. 14:322-332. DOI: 10.1002/(SICI)1099-1026(199909/10)14:5%3C322::AID-FFJ837%3E3.0.CO;2-4.
- Gruninger, R.J., Puniya, A.K., Callaghan, T.M., Edwards, J.E., Youssef, N., Dagar, S. S., Fliegerova, K., Griffith, G.W., Forster, R., Tsang, A., McAllister, T., Elshahed, M.S., 2014. Anaerobic fungi (phylum *Neocallimastigomycota*): advances in understanding their taxonomy, life cycle, ecology, role and biotechnological potential. *FEMS Microbiology Ecology*. 90:1-17. DOI: 10.1111/1574-6941.12383.
- Hart, K.J., Yanez-Ruiz, D.R., Duval, S.M., McEwan, N.R., Newbold, C.J. 2008. Plant extracts to manipulate rumen fermentation. *Animal Feed Science and Technology*. 147:8-35. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2007.09.007.
- Hammer, K.A., Carson, C.F., Riley, T.V. 1999. Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts. *Journal of Applied Microbiology*. 86:985-990. DOI: 10.1046/j.1365-2672.1999.00780.x.
- Helander, I.M., Alakomi, H., Latva-Kala, K., Mattila-Sandholm, T., Pol, I., Smid, E.J., Gorris, L.G.M., Wright, A. 1998. Characterization of the action of selected essential oil components on gram-negative bacteria. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 46:3590-3595. DOI: 10.1021/jf980154m.
- Hernández, F., Madrid, J., García, V., Orengo, J.J., Megías, M.D. 2004. Influence of two plant extracts on broilers performance, digestibility, and digestive organ size. *Poultry Science*. 83:169-174. DOI: 10.1093/ps/83.2.169.
- Jamroz, D., Orda, J., Kamel, C., Wiliczekiewicz, A., Wertelecki, T., Skorupinska, J. 2003. The influence of phytogetic extracts on performance, nutrient digestibility, carcass characteristics and gut microbial status in broiler chickens. *Journal of Animal and Feed Science*. 12:583-596. DOI: 10.22358/jafs/67752/2003.
- Kholif, A.E., Kassabb, A.Y., Azzaz, H.H., Matloup, O.H., Hamdon, H.A., Olafadehan, O.A., Morsy, T.A. 2018. Essential oils blend with a newly developed enzyme cocktail work synergistically to enhance feed utilization and milk production of Farafraewes in the subtropics. *Small Ruminant Research*. 161:43-50. DOI: 10.1016/j.smallrumres.2018.02.011.
- Kumar, R., Kamra, D.N., Agrawal, N., Chaudhary, L.C. 2009. Effect of eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) oil on *in vitro* methanogenesis and fermentation of feed with buffalo rumen liquor. *Animal Nutrition Feed Technology*. 9:237-243.
- Maia, J.G.S, Silva, M.H.L., Andrade, E.H.A., Carreira, L.M.M. 2005. Essential oil variation in *Lippia glandulosa* Schauer. *Journal of Essential Oils Research*. 17:676-680. DOI: 10.1080/10412905.2005.9699030.
- Macheboeuf, D., Morgavi, D.P., Papon, Y., Mousset, J.L. Arturo-Schaan, M. 2008. Dose-response effects of essential oils on fermentation activity of the rumen microbial population. *Animal Feed Science and Technology*. 145:335-350. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2007.05.044.
- Malecky, M., Broudiscou, L.P., Schimidely, P. 2009. Effects of two levels of monoterpene blend on rumen fermentation, terpene and nutrient flows in the duodenum and milk production in dairy goats. *Animal Feed Science and Technology*. 154:24-35. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2009.07.004.
- Martínez, S., Madrid, J., Hernández, F., Megías, M.D., Sotomayor, J.A., Jordan, M.J. 2006. Effect of thyme essential oils (*Thymus hyemalis* and *Thymus zygis*) and monensin on *in vitro* ruminal degradation and volatile fatty acid production. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54:6598-6602. DOI: 10.1021/jf060985p.
- McSweeney, C.S., Palmer, B., Bunch, R., Krause, D.O. 1999. Isolation and characterization of proteolytic ruminal bacteria from sheep and goats fed the tannin-containing shrub legume *Calliandra calothyrsus*. *Applied and Environmental Microbiology*. 65:3075- 3083. DOI: 10.1128/AEM.65.7.3075-3083.1999.
- Moss, A.R., Jouany, J., Newbold, J. 2000. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Annales De Zootechnie*. 49:231-253. DOI: 10.1051/animres:2000119.
- Münchberg, U., Anwar, A., Mecklenburg, S., Jacob, C. 2007. Polysulfides as biologically active ingredients of garlic. *Organic and*

- Biomolecular Chemistry. 5:1505-1518. DOI: 10.1039/b703832a.
- Newbold, C.J., Lassalas, B., Jouany, J.P. 1995. The importance of methanogens associated with ciliate protozoa in ruminal methane production *in vitro*. Letters of Applied Microbiology 21:230-234. DOI: 10.1111/j.1472-765X.1995.tb01048.x.
- Ohene-Adjei, S., Chaves, A.V., McAllister, T.A., Benchaar, C., Teather, R.M., Forster, R.J. 2008. Evidence of increased diversity of methanogenic archaea with plant extract supplementation. Microbial Ecology. 2:234-42. DOI: 10.1007/s00248-007-9340-0.
- OMS. 2005. Reglamento Sanitario Internacional. 2ª ed. Organización Mundial de la Salud. Ginebra, Suiza.
- Panizzi, L., Flamini, G., Cioni, P.L., Morelli, I. 1993. Composition and antimicrobial properties of essential oils of four Mediterranean *Lamiaceae*. Journal of Ethnopharmacology. 39:167-170. DOI: 10.1016/0378-8741(93)90032-Z.
- Patra, A.K. y Saxena, J. 2010. Dietary phytochemicals as rumen modifiers: a review of the effects on microbial populations. Antonie van Leeuwenhoek. 96:363-375. DOI: 10.1007/s10482-009-9364-1.
- 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. DOI: 10.1007/s10661-011-2090-y.
- Patra, A.K., Yu, Z. 2015. Effects of adaptation of *in vitro* rumen culture to garlic oil, nitrate, and saponin and their combinations on methanogenesis, fermentation, and abundances and diversity of microbial populations. Frontiers in Microbiology. 6:1434. DOI: 10.3389/fmicb.2015.01434.
- Pauli, A. y Schilcher, H. 2010. *In vitro* antimicrobial activities of essential oils monogrammed in the European Pharmacopoeia. 6ta Edición. En: Baser, K. H. C. y Buchbauer, G. (Eds.). Handbook of Essential Oils: Science, Technology, and Applications. pp. 353-347.
- Prescott, L.M., Harley, J.P., Klein, D.A. 2004. Control de microorganismos por agentes físicos y químicos. En: Microbiología. McGraw-Hill-Interamericana de España: Madrid, España. pp 145-162.
- Russell, J.B., R. Onodera, and T. Hino. 1991. Ruminant protein fermentation: new perspectives on previous contradictions. In: T. Tsuda, Y. Sasaki, and R. Kawashima (eds.) Physiological aspects of digestion and metabolism in ruminants. Academic Press, Tokyo, Japan. pp. 681-697. DOI: 10.1016/B978-0-12-702290-1.50034-5.
- Sangwan, N.S., Farooqi, A.H.A., Shabih, F., Sangwan, R.S. 2001. Regulation of essential oil production in plants. Plant Growth Regulation. 34:3-21. DOI: 10.1023/A:1013386921596.
- Salem, A.Z.M., Arnoldo, G., Mona, M. Y., Luis, M., Ahmed, E., Kholif, C., Dominguez, I., Jimenez, R., Almaraz, E., Martínez, A., Mariezcurrena, M. 2014. Influence of *Salix babylonica* extract in combination or not with increasing levels of mineral mixture on *in vitro* rumen gas production kinetics of a total mixed ration. Italian Journal of Animal Science. 13:873-879. DOI: 10.4081/ijas.2014.3110.
- Santos, M.B., Robinson, P.H., Williams, P. Losa, R. 2010. Effects of addition of an essential oil complex to the diet of lactating dairy cows on whole tract digestion of nutrients and productive performance. Animal Feed Science and Technology. 157:64-71. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2010.02.001.
- Sikkema, J., Bont, J.A.M., Poolman, B. 1999. Interactions of cyclic hydrocarbons with biological membranes. Journal of Biological Chemistry. 269:8022-8028.
- Smeti, S., Hajji, H., Mekki, I., Mahouachi, M., Atti, N. 2018. Effects of dose and administration form of rosemary essential oils on meat quality and fatty acid profile of lamb. Small Ruminant Research. 158:62-68. DOI: 10.1016/j.smallrumres.2017.10.007.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M. De Haan, C. 2006. Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options. FAO, Rome, Italy.
- Tager, L.R., Krause, K.M. 2011. Effects of essential oils on rumen fermentation, milk production, and feeding behavior in lactating dairy cows. Journal of Dairy Science. 94:2455-2464. DOI: 10.3168/jds.2010-3505.
- Ultee, A., Kets, E.P., Smid, E.J. 1999. Mechanisms of action carvacrol on the food-borne pathogen *Bacillus cereus*. Applied and Environmental Microbiology. 65:4606-4610.

- van Zijderveld, S.M., Dijkstra, J., Perdok, H.B., Newbold, J.R., Gerrits, W.J.J. 2011. Dietary inclusion of diallyl disulfide, yucca powder, calcium fumarate, an extruded linseed product, or medium-chain fatty acids does not affect methane production in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 94:3094-3104. DOI:10.3168/jds.2010-4042
- Van-Zyl, R.L., Seatholo, S., Van-Vuuren, S.F., Viljoen, A.M. 2006. The biological activities of 20 nature identical essential oil constituents. *Journal of Essential Oil Research*. 18:129-133. DOI: 10.1080/10412905.2006.12067134
- Vokou, D., Kokkini, S., Bessiere, J.M. 1993. Geographic variation of Greek oregano (*Origanum vulgare* ssp. *Hirtum*) essential oils. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*. 21:287-295. DOI: 10.1016/0305-1978(93)90047-U.
- Wang, C.J., Wang, S.P., Zhou, H. 2009. Influences of flavomycin, ropadiar and saponin on nutrient digestibility, rumen fermentation, blood metabolites, growth performance and carcass characteristics of growing lambs. *Animal Feed Science and Technology*. 148:157-166. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2008.03.008.
- Wallace, R.J., McEwan, N.R., McIntosh, F.M., Teferedegne, B., Newbold, C.J. 2002. Natural products as manipulators of rumen fermentation. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 15:1458-1468. DOI: 10.5713/ajas.2002.1458.
- Wallace, R.J. 2004. Antimicrobial properties of plant secondary metabolites. *Proceedings of the Nutrition Society*. 63:621-629. DOI:10.1079/PNS2004393.
- Yang, Y., Kayan, B., Bozer, N., Pate, B., Baker, C., Gizir, A. M. 2007. Terpene degradation and extraction from basil and oregano leaves using subcritical water. *Journal of Chromatography*. 1152:262-267. DOI: 10.1016/j.chroma.2006.11.037.