



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

“FITOQUÍMICOS DE TANINOS, SAPONINAS Y ACEITES ESENCIALES
EXHIBEN MICROORGANISMOS ANTIRUMINALES PARA MITIGAR LA
PRODUCCIÓN DE METANO AMBIENTAL EN LA GANADERÍA.”

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Presenta:

CHRISTIAN CADENA SANTANA

Asesores:

DR. ABDEFATTAH ZEIDAN MOHAMED SALEM
DRA. MONA MOHAMED MOHAMED YASSEEN ELGHANDOUR

Revisores:

DR. JOSÉ LUIS BORQUEZ GASTELUM
DR. MANUEL GONZÁLEZ RONQUILLO

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca México Marzo de 2019



CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	II
INDICE DE CUADROS.....	V
INDICE DE FIGURAS	V
RESUMEN	VI
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 IMPACTO DE LA GANADERÍA EN EL MEDIO AMBIENTE	3
2.2 DIGESTIÓN DE LOS RUMIANTES	3
3. FITOQUÍMICOS DE TANINOS.....	5
3.1 ESTRUCTURA QUÍMICA Y CLASIFICACIÓN	6
3.2 TANINOS HIDROLIZABLES.....	7
3.3 TANINOS CONDENSADOS	7
3.4 APLICACIÓN EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL	7
4. SAPONINAS.....	10
4.1 ESTRUCTURA QUÍMICA Y CLASIFICACIÓN	10
4.2 SAPONINAS ESTEROIDALES.....	11
4.3 SAPONINAS TRITERPÉNICAS.....	12
4.4 APLICACIÓN EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL	12
5. ACEITES ESENCIALES	13
5.1 APLICACIÓN EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL	14
6. OBJETIVO	16
6.1 OBJETIVO GENERAL	16
6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
7. JUSTIFICACIÓN	17
8. MATERIAL Y MÉTODOS	18
8.1 BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN	18
8.2 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	18
8.3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA	19
9. METABOLITOS SECUNDARIOS.....	20
10. EFECTOS DE LAS SAPONINAS EN LA MICROFLORA DE LOS RUMIANTES Y LA PRODUCCIÓN DE METANO (CH₄)	22
11. EFECTOS DE LOS TANINOS EN LA MICROFLORA DE LOS RUMIANTES Y LA PRODUCCIÓN DE METANO (CH₄)	25

12. EFECTO DE ACEITE ESENCIAL EN LA MICROFLORA DE LOS RUMIANTES Y LA PRODUCCIÓN DE METANO (CH₄)	30
12.1 EFECTO DE LOS METABOLITOS SECUNDARIOS DE LAS PLANTAS SOBRE EL METANO (CH ₄) Y LOS PARÁMETROS DE FERMENTACIÓN RUMINAL.....	36
13. CONCLUSIONES	43
14. BIBLIOGRAFÍA	44

INDICE DE CUADROS

Página

1. Efectos de los metabolitos secundarios de las plantas sobre el metano (CH₄) y los parámetros de fermentación ruminal.....36

INDICE DE FIGURAS

1. Clasificación de los taninos.....6
2. Vía generalizada para la biosíntesis de MSP (saponinas, taninos y aceites esenciales.....11
3. Estructuras químicas de aceites esenciales seleccionados.....14

RESUMEN

Los metabolitos secundarios de las plantas (MSP) son los fitoquímicos más valiosos producidos por el metabolismo de las plantas. Son moléculas que desempeñan funciones fisiológicas vitales en las plantas y también ayudan a modular los procesos de mantenimiento de la salud o la prevención de enfermedades en los organismos al actuar como agentes antioxidantes, antiinflamatorios, antihipertensivos, anticancerígenos, antimutágenos y antimicrobianos. Muchos investigadores han informado sobre los efectos de la sustitución de fitoconstituyentes como los taninos, las saponinas y el aceite esencial como aditivos en la alimentación del ganado para modificar la fermentación del rumen.

La modificación puede reducir la pérdida de energía de alimentación y mejorar la productividad animal. También tienen potencial para mitigar los gases de efecto invernadero (GEI), como el metano (CH₄) y el dióxido de carbono (CO₂) emitidos en la producción ganadera. Estos GEI contribuyen en gran medida al calentamiento global, la degradación ambiental y la contaminación. La presente revisión tiene como objetivo proporcionar información actualizada sobre la influencia de los MSP (taninos, saponinas y aceites esenciales) en la microflora ruminal y sus potenciales para mitigar las producciones de CH₄ y CO₂; los dos principales gases de efecto invernadero (GEI) que contribuyen significativamente al calentamiento global y la degradación ambiental. Este trabajo también revisará las supuestas actividades antimicrobianas de los metabolitos secundarios de las plantas y su capacidad para mejorar la salud animal y mejorar la productividad.

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas dos décadas, ha habido preocupaciones emergentes y crecientes sobre el aumento significativo de las emisiones de gases de efecto invernadero. Estos gases, CH₄, NO₂ y CO₂, tienen un impacto perjudicial en el medio ambiente y provocan el calentamiento global que conduce al cambio climático y la degradación del medio ambiente (IPCC, 2007; Patra y Sexena, 2010).

Muchos investigadores han informado sobre los efectos de la sustitución de fitoconstituyentes como taninos, saponinas y aceites esenciales como aditivos de alimentos químicos para modificar la fermentación ruminal. Las principales limitaciones en la producción pecuaria son el desperdicio de nutrientes causado por el exceso de excreción y la digestibilidad ineficiente o deficiente de los piensos, las emisiones de CO₂ y CH₄ que causan una pérdida de energía en la alimentación del 2-12% (Hristov *et al.*, 2015).

Debido a estos desafíos, los nutricionistas, bioquímicos y microbiólogos de los animales han centrado su atención en la aplicación de metabolitos secundarios de plantas, enzimas y levaduras como aditivos para alimentos para modificar o manipular los ecosistemas microbianos y la cinética de fermentación de los rumiantes, el objetivo primordial de estas modificaciones es mejorar la utilización de alimento animal, mejorar la digestibilidad de alimentos fibrosos, reducir la degradabilidad de proteínas (Salem *et al.*, 2012), además de aumentar el rendimiento animal, minimizar la pérdida de energía durante la fermentación ruminal y también reducir CH₄ y CO₂ producciones para la producción animal ecológica. Recientemente, los investigadores han demostrado que los metabolitos secundarios de plantas son aditivos naturales y más seguros que pueden desempeñar un papel esencial para reducir las producciones de CH₄ y CO₂ durante la producción de rumiantes sin afectar adversamente la fermentación ruminal (Patra y Saxena, 2010).

La bioactividad de estos compuestos está influenciada en gran medida por la ubicación geográfica junto con las condiciones climáticas, el tiempo / período de recolección, el método utilizado para procesar o almacenar las muestras (Bodas *et al.*, 2008). Los alimentos de los animales rumiantes contienen gran cantidad de moléculas complejas que son degradadas por microbios durante la fermentación para liberar energía y otros compuestos químicos (IPCC, 2007). La incorporación de metabolitos secundarios de plantas como aditivos biológicos en la alimentación de rumiantes se ha reportado en diversos trabajos en los cuales han buscado reducir la pérdida de energía de alimentación a energía metabolizable (Johnson *et al.*, 1995), disminuyendo así la pérdida de energía y la emisión de CH₄ y CO₂ a la atmósfera.

Este informe de revisión proporcionará información sobre el uso de algunos metabolitos secundarios de plantas seleccionados como saponinas, taninos y aceites esenciales como aditivos para alimentos para modificar o manipular la microflora ruminal y la cinética de fermentación en otros para reducir el CH₄ y el CO₂ durante la producción de rumiantes.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Impacto de la ganadería en el medio ambiente

La ganadería es el sector con mayor crecimiento en el mundo, debido a la demanda de proteína animal, por esta razón se requiere la producción de millones de rumiantes. Se considera que los rumiantes en sistemas de producción extensiva son una de las principales causas de los problemas ambientales en el mundo, como: el calentamiento global del planeta, la degradación del suelo, la deforestación, la contaminación de la atmósfera y del agua, y la pérdida de biodiversidad, entre los gases de efecto invernadero que causan mayor efecto hacia el calentamiento global son el bióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O), siendo el metano la de mayor importancia (Pérez *et al.*, 2011).

La agricultura y la producción pecuaria contribuyen ampliamente a las emisiones antropogénicas de metano, dióxido de carbono y óxido nitroso a la atmósfera. Las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del sector agrícola son de aproximadamente 25.5% del total de las emisiones globales y mayor del 60% de fuentes antropogénicas (FAO, 2009). La ganadería contribuye con alrededor del 80% de las emisiones de este sector. La importancia sobre el calentamiento global de las diferentes áreas en que se divide la ganadería según el orden de importancia son los siguientes: deforestación y desertificación (35%), estiércol (31%), fermentación entérica (35%), y otros (9%) (FAO, 2006; FAO, 2009).

2.2 Digestión de los rumiantes

Los rumiantes se caracterizan por su capacidad para alimentarse de pasto o forraje. Esta característica se basa en la posibilidad de poder degradar los hidratos de carbono estructurales del forraje, como celulosa, hemicelulosa y pectina, muy poco digestibles para las especies de estómago simple o no-rumiantes. Basada en

esta diferencia fundamental, la fisiología digestiva del rumiante adquiere características particulares. La degradación del alimento se realiza mayoritariamente por digestión fermentativa y no por acción de enzimas digestivas, y los procesos fermentativos los realizan diferentes tipos de microorganismos a los que el rumiante aloja en sus divertículos estomacales (Relling,2003).

Los microorganismos del rumen son esencialmente bacterias y protozoarios, las primeras son las más importantes y su concentración puede llegar a cien mil millones por centímetro cúbico. La concentración y el tipo de bacterias depende de la dieta pues si bien están presentes siempre muy variadas especies, el porcentaje en que se halla cada una de ellas es muy variable, los protozoarios se hallan en mucho menor concentración que las bacterias y su función es menos definida (García, 2009).

Esta digestión fermentativa, si bien favorece al rumiante al permitirle degradar hidratos de carbono estructurales, también afecta la digestión de todos los demás componentes de la dieta, expuestos a los mismos procesos fermentativos, sin que esto represente siempre una ventaja desde el punto de vista del mejor aprovechamiento del alimento (Mattioli, 2003).

La rumia es la función característica del rumiante y consiste en la regurgitación de digesta del retículo a la boca. Esta se inicia durante el contacto de partículas gruesas en la pared ruminal; se produce una contracción del retículo que precede las contracciones del ciclo de mezcla y eleva el material por encima del nivel del cardias; este se abre y el alimento es absorbido por una presión negativa, similar a la del eructo. Se regurgita un bolo de aproximadamente 130 gramos con cierta cantidad de líquido. La remasticación dura de 25 a 60 segundos y consiste en 30 a 80 movimientos de mandíbula. Son movimientos horizontales, típicos de los rumiantes. Al cabo de aproximadamente un minuto el bolo es reingerido y vuelve al rumen tal como un bolo recién consumido, pero ya más despedazado y más

fácilmente atacable por las bacterias. Los períodos de rumio son cortos, de 20 a 50 minutos, raramente más de 90 y tienden a ser más frecuentes después de las comidas (García, 2009). En el rumen, contrariamente a lo que sucede en el estómago de los monogástricos se produce absorción de los productos de la digestión, en este caso ácidos grasos volátiles. También absorbe el amoníaco producido por el ataque bacteriano a las proteínas o por hidrólisis de la urea proveniente tanto de la dieta como de la saliva. El amoníaco absorbido es transformado por el hígado en urea, y de ésta, parte se elimina por la orina y parte vuelve al rumen por medio de la saliva (García, 2009).

3. FITOQUÍMICOS DE TANINOS

Son compuestos fenólicos, son sustancias conocidas por sus propiedades anti-nutricionales ya que pueden ocasionar una disminución en el consumo de alimento o una reducción de la digestibilidad de esas plantas, y un funcionamiento inadecuado del rumen, son considerados como un factor principal detrás de los problemas de bajo valor nutricional de las plantas leguminosas forrajeras (Acosta *et al.*, 2008)

Los taninos forman parte importante de las características que determinan la apetencia por las plantas por los herbívoros debido a las características astringentes de estos compuestos, de esta manera la planta reduce la frecuencia de ataque de los rumiantes y mejora sus posibilidades de sobrevivir. Se ha comprobado que las plantas que reciben mayor ataque de los herbívoros son capaces de aumentar su concentración de taninos, los taninos son compuestos sintetizados naturalmente por algunas plantas. Se dividen en hidrolizables y condensados siendo estos últimos los más comunes. Ejemplos de especies vegetales de importancia forrajera que posee taninos condensados en forma natural son aquellas de los géneros *Lotus* y *Sorghum*. El grupo de taninos hidrolizables tiene una estructura diferente y se encuentra en especies como el roble o acacia (Pasitano, 2012).

En la naturaleza vamos a encontrar dos tipos distintos de taninos, los taninos condensados y los taninos hidrolizados. Los taninos condensados están formados por flavonoides unidos por átomos de carbono, los productos con estos taninos se fabrican en su mayoría a partir de la madera del quebracho. Los taninos hidrolizados están formados por ésteres de ácido gálico y dímeros de ácido gálico, digálico con monosacárido. Aparecen en los preparados comerciales que provienen en su mayoría de la madera del castaño (Lasa, 2010).

3.1 Estructura química y clasificación

Los taninos son compuestos químicos formados por fenoles solubles en agua con un peso molecular que varía entre los 500 y los 3,000 Da, además de poseer la propiedad de precipitar ciertos componentes de las plantas tales como alcaloides, carbohidratos y principalmente proteínas, formando con estas últimas un complejo estable (Solano, 1997).

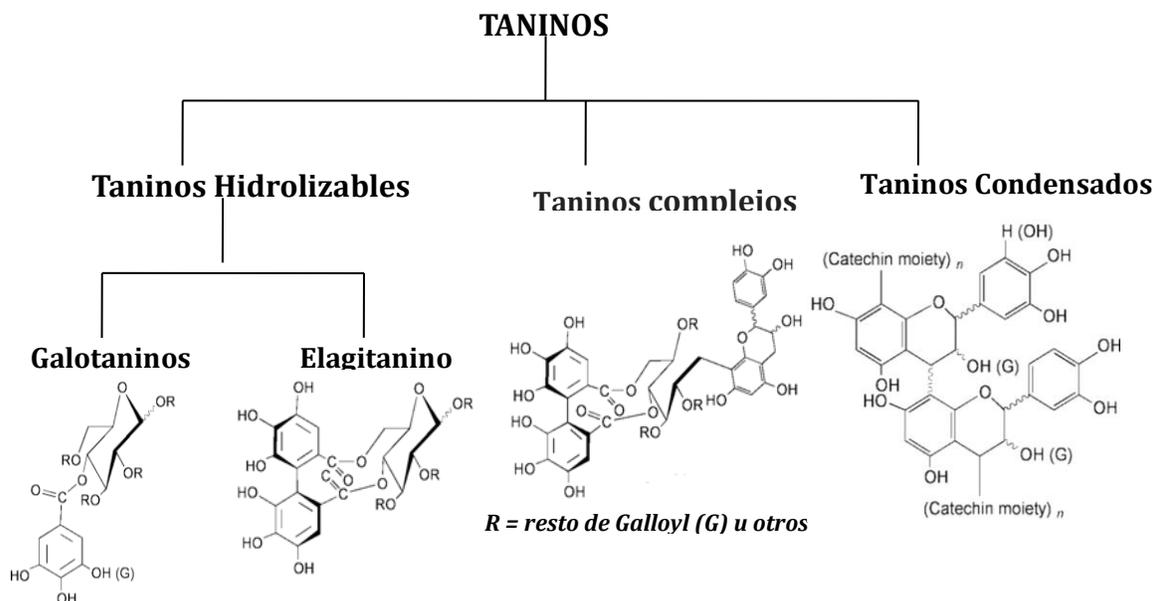


Figura 1. Clasificación de los taninos.

Los tres grupos estructurales se producen por tres vías biosintéticas diferentes. Los taninos hidrolizables se producen por una derivación de la vía del ácido shikímico que conduce a la producción de ácido gálico (unidad monomérica fundamental), los florotaninos derivan por la vía de la malonilCoA que produce el bloque de construcción floroglucinol; mientras los taninos condensados derivan por biosíntesis mixta de las dos rutas anteriores que producen flavan-3,4-dioles (unidades monoméricas) que luego polimerizan por condensación (Izasa, 2007).

3.2 Taninos hidrolizables

Los taninos hidrolizables (TH) son polímeros de ácidos esterificados como el ácido gálico, ácido egálico, ácido fecarboxilioco fenolatado de ácido gallico (gallotanin) o de ácido hexaidroxydifencil y, con una molécula central que generalmente está formada por un compuesto de carbohidrato como glucosa o un polifenol como la catequina. Estos compuestos pueden ser separados en sus productos por hidrólisis, con ácidos o reacciones enzimáticas (Solano, 1997).

3.3 Taninos condensados

Los taninos condensados (TC o proantocianidinas) son los que se encuentran en forma más común en forrajes de leguminosas y están formadas por polímeros compuestos de flavan-3-ol (catequina) ó flavan-3,4-diol (leucoantocianidinas), o sus derivados que están ligados por estructuras de doble carbono o carbono oxígeno (C-C o C-O-C), por lo que no es susceptible a hidrólisis (Leinmuller *et al.*, 1991). Los TC no son considerados tóxicos debido a que no son absorbidos por el animal, pero están asociados con lesiones de la mucosa intestinal (Solano, 1997).

3.4 Aplicación en la alimentación animal

Los efectos de los taninos sobre los rumiantes varían, en primer lugar, en función del tipo de tanino de que se trate y del nivel del mismo en el alimento y, en segundo lugar, dependiendo de la especie animal que los consuma. El balance final de los efectos de los taninos puede resultar positivo para el animal mejorar la

eficiencia de utilización de los alimentos o negativo, determinando, en consecuencia, un descenso en los rendimientos productivos de los animales (Salem *et al.*, 2009).

El efecto positivo de los taninos se traduciría en una utilización más eficiente de la proteína que no sólo aumentaría la respuesta animal sino también disminuiría la contaminación ambiental de nitrógeno y metano. Además, la utilización de este aditivo natural en la alimentación de rumiantes ha cobrado también interés ya que no presenta restricciones en su utilización como si lo tiene por ejemplo la monensina (Pasitano, 2012).

La ingestión de taninos puede determinar cambios tanto en la producción como en la composición de la saliva, de tal forma que estos cambios son considerados como mecanismos de adaptación, desarrollados a lo largo del proceso evolutivo, al consumo de alimentos que contienen taninos. Se ha observado que los herbívoros salvajes son más tolerantes a los taninos que las especies domésticas, tales como los ovinos y bovinos. Esta mayor tolerancia estaría fundada en la presencia en la saliva, en los animales adaptados a un permanente consumo de arbustos con altos contenidos de taninos, de una alta concentración de proteínas ricas en prolina, aminoácido con una elevada afinidad por los taninos que, reaccionando con éstos, forman complejos estables a lo largo de todo el tracto digestivo y disminuyen así su posible acción tóxica (Salem *et al.*, 2009).

Se ha demostrado que los taninos son capaces de inhibir el crecimiento microbiano. Las bacterias Gram (+) son más sensibles que las Gram (-), ya que la escasez de proteína en la pared celular hace que los taninos se ligen al plasmalema celular originando un daño más grave (Lasa *et al.*, 2010)

Pueden ocasionar una mayor producción animal. Al consumirse en cantidades moderadas los efectos son generalmente positivos y no reducen el consumo

voluntario. Al unirse y formar complejos con proteína de la dieta, evitan su degradación en el rumen, aumentando la cantidad de amino ácidos que llegan al abomaso y la cantidad de amino ácidos esenciales que son absorbidos. Las plantas taniníferas pueden tener una actividad antiparasitaria directa pero también podrían tener un efecto indirecto a través de mejorar la respuesta inmune de los animales contra los NGI. Se han reportado recientemente varios trabajos en los que se demuestra que los taninos pueden mejorar la resiliencia (menos signos clínicos, mejor crecimiento y producción de lana) y resistencia (menor cantidad de huevos de nematodos en heces, menor carga parasitaria y menor fertilidad de hembras parásitas) de los caprinos y ovinos (Acosta *et al.*, 2008).

Los taninos hidrolizados se unen a la proteína por interacciones hidrofóbicas, que van a resultar más débiles a nivel abomasal y van a aumentar la cantidad de proteína by-pass digestible a nivel intestinal, lo que mejoraría el balance de nitrógeno, ya que una menor cantidad de nitrógeno sería excretado por las heces (Lasa *et al.*, 2010). De la propiedad de unión a la proteína podríamos plantear distintas situaciones beneficiosas para la producción:

- Aumento de proteína by-pass.
- Aumento de proteína en la leche de vaca (1-2 décimas de punto de proteína en leche).
- Disminución de casos de timpanismo en animales de cebo, ya que disminuye la cantidad de proteína soluble en el rumen.
- Descenso de producción de amonio en el rumen.
- Algunos productos basados en taninos se plantean como conservantes de ensilados proteicos (Pasitano, 2012).

4. SAPONINAS

Las saponinas son compuestos que se encuentran en muchas plantas deben su nombre a la característica distintiva de formar espuma. Las saponinas son percibidas como amargas, y esto reduce las características organolépticas y palatabilidad de los productos ricos en ellas. Sólo algunas (generalmente aquellas con aglicona triterpenoica) tienen un buen sabor. El rol biológico de las saponinas no es comprendido completamente, pero generalmente son consideradas como parte del sistema de defensa de las plantas contra patógenos y herbívoros, especialmente debido a su sabor amargo (Troisi *et al.*, 2014).

Las saponinas son glicósidos hidrosolubles, con propiedades tensoactivas y hemolíticas, ambas atribuidas a sus características estructurales de naturaleza anfifílica. Estos metabolitos también pueden ejercer una amplia actividad biológica y farmacológica, destacándose su efecto piscida, insecticida, anti-protozoos, anti-inflamatorio, leishmanicida, anti-trichomonas, anti-agregante plaquetario, broncolítico, hipocolesterolémico,^{2,3} así como su actividad citotóxica frente a varias neoplasias (Mena *et al.*, 2015).

4.1 Estructura química y clasificación

Las saponinas son metabolitos secundarios que constituyen una gran familia de compuestos estructuralmente constituidos por un anillo terpenoide o esteroidal, conocidos como aglicona o sapogenina, sustituidos por oligosacáridos a través de enlaces glucosídicos que les confieren un carácter anfifílico.

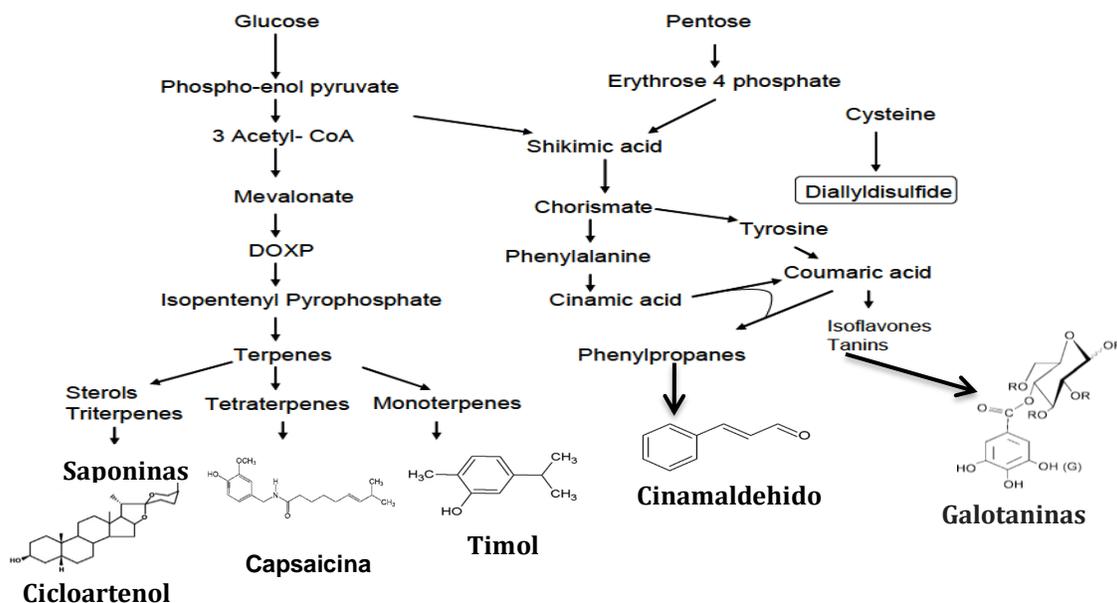


Figura 2. Vía generalizada para la biosíntesis de MSP (saponinas, taninos y aceites esenciales) (Calsamiglia *et al.*, 2007)

De acuerdo con el número de sustituciones, se pueden encontrar agliconas mono, di o triglicosiladas, también denominadas mono, di o tridesmosídicas. Las monodesmosídicas tienen un oligosacárido unido al C-3; las bidesmosídicas tienen dos cadenas de carbohidratos, uno de ellos unido mediante un enlace éter al C-3, y el otro unido a través de un enlace éster al C-28, en el caso de las saponinas triterpénicas; y las tridesmosídicas que contienen tres cadenas de azúcares (Ahumada, 2016).

4.2 Saponinas esteroidales

Las saponinas esteroidales derivan de un esqueleto hexacíclico de 27 átomos de carbono, que es el núcleo estirostano. Algunas de estas saponinas son de gran interés e importancia por su relación con compuestos como las hormonas sexuales, cortisona, esteroides diuréticos, vitamina D y heterósidos cardíacos. Por

este motivo, algunos son utilizados como material de partida para la síntesis de estos compuestos. En este sentido, destaca el uso de la diosgenina, saponina que se 6 obtiene, principalmente a partir de las partes subterráneas de distintas especies de lianas herbáceas tropicales del género *Dioscorea* (Hernández, 2014).

Las saponinas esteroidales se encuentran por lo general en familias de la clase monocotiledónea, como son: *Liliaceae* (*Agavaceae*), *Dioscoreaceae* y *Amaryllidaceae*. En las dicotiledóneas, se les ha encontrado en las familias *Solanaceae* y *Scrofulariaceae*. En el género *Agave* se han identificado varias sapogeninas como: hecogenina, manogenina, yucagenina, agavogenina, sarsasapogenina, texogenina, esmilagenina, gitogenina, tigogenina y clorogenina (Hernández, 2005).

4.3 Saponinas triterpénicas

Las sapogeninas triterpénicas están ampliamente distribuidas en el reino vegetal y se presentan en 3 estructuras químicas diferentes (30-45 carbonos): acíclicas como el escualeno, considerado como el precursor natural de esta familia: tetracíclicas como el panaxadiol y pentacíclicas como la estallogenina. Estas sustancias pueden presentarse en sus fuentes naturales en forma libre, formando ésteres, o como parte de un glicósido (saponina). Las sapogeninas pentacíclicas se subdividen a su vez en 3 grupos: tipo lupano; tipo ursano (derivado de la amirina), ambos no están presentes en los forrajes y los de tipo oleanano (derivados de la β amirina) presentes en estos últimos (Hernández, 2014).

4.4 Aplicación en la alimentación animal

El uso de saponinas como aditivos en rumiantes reduce la degradabilidad ruminal de la proteína del alimento y aumenta el crecimiento microbiano, por lo que aumenta el flujo duodenal de aminoácidos y su disponibilidad para cubrir las

necesidades del animal (Hart *et al.*, 2008). Estos efectos se deben a que las saponinas reducen la población ruminal de protozoos e incrementan la población bacteriana total, aunque parece que no ejercen efecto sobre otros microorganismos como las arqueas metanogénicas, las principales bacterias celulolíticas (*F. succinogenes*, *R. albus* y *R. flavefaciens*) y los hongos (Wina, 2012).

Como consecuencia, se ha observado una reducción de la producción de metano y amoníaco y un aumento de la producción de propiónico, lo que aumentaría la disponibilidad de glucosa para el rumiante. A pesar de que los efectos de las saponinas sobre la fermentación ruminal son consistentes, existe una gran variabilidad en las respuestas productivas de los animales. En algunos estudios se ha observado un incremento en la producción de leche (Anantasook *et al.*, 2014), pero en otros no se ha observado efecto (Lovett *et al.*, 2006; Holtshausen *et al.*, 2009; Benchaar *et al.*, 2008). La diversidad de saponinas y de dosis utilizadas en los experimentos, junto con la posible adaptación de las poblaciones microbianas a estos compuestos son algunos de los factores que justifican esta variabilidad.

5. ACEITES ESENCIALES

Un aceite esencial se define como la sustancia volátil con aroma/olor y sabor que se obtiene de plantas, a partir de un proceso físico. En general, los aceites esenciales son compuestos químicos aromáticos volátiles, que usualmente se producen y almacenan en los canales secretores de las plantas y que les sirven para protegerse de predadores; estos aceites contienen las sustancias responsables del aroma de las plantas y son importantes en la industria cosmética (perfumes y aromatizantes), de alimentos (condimentos y saborizantes) y farmacéutica, y en los últimos años también se han usado en producción animal (Burt, 2004).

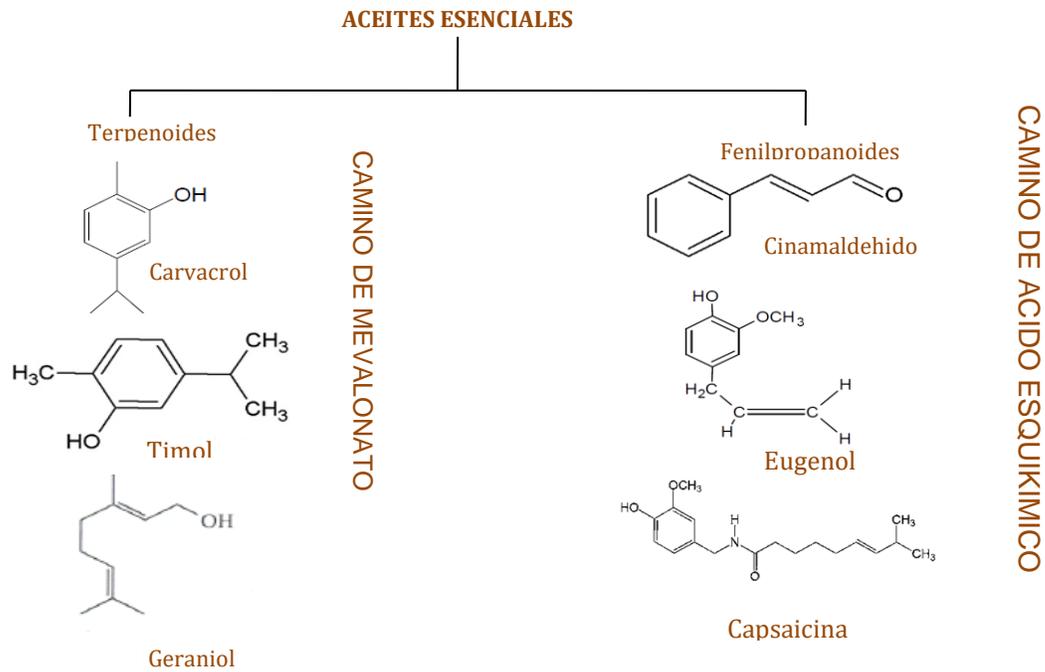


Figura 3. Estructuras químicas de aceites esenciales seleccionados.

5.1 Aplicación en la alimentación animal

Los aceites esenciales tienen propiedades que son capaces de modificar la fermentación ruminal, haciendo más aprovechables los nutrientes de los alimentos, con lo que mejora la eficiencia de producción de leche y de carne en bovinos y ovinos, obteniendo mayores ganancias de peso y mejores conversiones alimenticias (Martínez, 2015).

En vacas lecheras se han usado los aceites esenciales con la finalidad de incrementar la fermentación ruminal y el aprovechamiento del N₂. Hristrov *et al.* (2008) evaluaron *in vitro* estas variables y encontraron que el adicionar aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus staigeriana*), hibiscos, gardenia y menta (10-

100mgL⁻¹) en la dieta de los animales, tiene efectos en la reducción (5-12%) del amoníaco ruminal (Macedo *et al.*, 2010).

6. OBJETIVO

6.1 Objetivo general

Proporcionar información actualizada sobre la influencia de los MSP (taninos, saponinas y aceites esenciales) en la microflora ruminal y su potencial para mitigar las producciones de CH₄ y CO₂; los dos principales gases de efecto invernadero (GEI) que contribuyen significativamente al calentamiento global y la degradación ambiental. Además, las supuestas actividades antimicrobianas de metabolitos secundarios de plantas y su capacidad para mejorar la salud de los animales, mejorar la productividad y analizar los efectos que tiene sobre la disminución de metano.

6.2 Objetivos específicos

- a) Analizar los efectos de la ganadería en la producción de metano, así como diversos métodos de alimentación para disminuir la producción de estos.
- b) Revisar la literatura para evaluar el uso de taninos, saponinas y aceites esenciales en la alimentación animal.
- c) Buscar información sobre el efecto en la disminución en la producción de metano en animales en los cuales se han utilizado taninos, saponinas y aceites esenciales.

7. JUSTIFICACIÓN

La producción pecuaria debe sufrir mejoras con el pasar de los años, en la actualidad, debido al aceleramiento del calentamiento global, una de estas mejoras es la disminución de su efecto perjudicial al medio ambiente, sin afectar la eficiencia productiva, garantizando la sostenibilidad de la producción en el tiempo, por lo que cada día va tomando más importancia la aplicación de taninos, saponinas y aceites esenciales para contribuir a la disminución de la producción de metano generado por la ganadería. Una alternativa eficaz y segura es el uso de aditivos para piensos, incluyendo aceites esenciales; se ha reportado que los aceites esenciales mejoraron la utilización de los piensos debido a su capacidad para mejorar la fermentación ruminal y aumentar la digestibilidad dietética.

8. MATERIAL Y MÉTODOS

- Computadora
- Internet
- Editoriales
- -Redalyc
- -Multimédica ediciones veterinarias
- -ELSEVIER
- Hojas
- Plumas
- Memoria USB.
- Biblioteca Digital de la Universidad Autónoma del Estado de México.

Se hizo una revisión de la literatura durante los meses de abril a julio del año 2018; se consultaron artículos científicos en diversas revistas indexadas y journals, esto con el fin de obtener la información más actual sobre el tema.

8.1 Búsqueda de información

El proceso de obtención de información se realizó de forma organizada, siguiendo un proceso minucioso y detallado de cada apartado, para lo cual se hizo uso de diferentes materiales, los cuales fueron de una fuente confiable, editoriales con un alto factor de impacto y principalmente documentos publicados en años recientes.

8.2 Recopilación de información

Se hizo uso de los diferentes materiales tecnológicos; equipo de cómputo, software, memoria USB, iPad, entre otros, para el almacenamiento de la

información relevante y necesaria para la conformación de una base de datos, a partir de la cual se recuperó información útil para la creación de esta investigación bibliográfica.

8.3 Análisis de la información recopilada

La información se organizó, con el fin de resaltar la información más relevante que las fuentes de información consultadas contenían.

9. METABOLITOS SECUNDARIOS

Los metabolitos secundarios de plantas (MSP) son los fitoquímicos más valiosos producidos por el metabolismo de las plantas. Son moléculas que desempeñan papeles fisiológicos vitales en las plantas y también ayudan a modular los procesos de mantenimiento de la salud o la prevención de enfermedades en los organismos al actuar como agentes antioxidantes, antiinflamatorios, antihipertensivos, anticancerígenos, antimutagénicos y antimicrobianos.

Actualmente, las industrias basadas en productos agroalimentarios, como la ganadería, se encuentran entre los principales contribuyentes de la fuente antropogénica de GEI-CH₄ y CO₂. Slade *et al.* (2016) en su reciente investigación observaron que dos tercios de estas emisiones directas se deben a la producción ganadera. Según el informe de la FAO (2006), la producción animal es responsable del 18% de las emisiones de CH₄ y del 9% de CO₂ de todas las emisiones de GEI. El metano tiene un mayor efecto de calentamiento global (alrededor de 23 veces) que el CO₂ (Rira *et al.*, 2015) y representa el 50-60% de emisiones de GEI durante la producción de rumiantes (Mirzaei-Aghsaghali *et al.*, 2012). Las principales limitaciones en la producción pecuaria son el desperdicio de nutrientes causado por el exceso de excreción y la digestibilidad ineficiente o deficiente de los piensos, las emisiones de CO₂ y CH₄ causan una pérdida de energía de alimentación del 2-12% (Hristov *et al.*, 2015). Debido a estos desafíos, los nutricionistas, bioquímicos y microbiólogos de los animales han centrado su atención en la aplicación de MSP, enzimas y levaduras como aditivos para alimentos para modificar o manipular los ecosistemas microbianos y la cinética de fermentación de los rumiantes.

El objetivo básico de estas modificaciones es mejorar la utilización de alimento animal, mejorar la digestibilidad de alimentos fibrosos, reducir la degradabilidad de proteínas (Salem *et al.*, 2012), aumentar el rendimiento animal, minimizar la pérdida de energía durante la fermentación ruminal y también reducir CH₄ y CO₂

para la producción animal ecológica. Recientemente, los investigadores han demostrado que los MSP son aditivos naturales y más seguros que pueden desempeñar un papel esencial para reducir las producciones de CH₄ y CO₂ durante la producción de rumiantes sin afectar adversamente la fermentación ruminal (Patra y Saxena, 2010).

Los metabolitos secundarios de plantas (MSP) son metabolitos de plantas no nutritivas que desempeñan papeles vitales, como la protección de las plantas contra organismos herbívoros, microorganismos y plagas (Bodas *et al.*, 2012). El término se refiere a un gran grupo de compuestos biológicos que residen en las plantas y confieren varios potenciales bioquímicos relacionados con el crecimiento y la reproducción (Patra y Saxena, 2010). Estos grupos de compuestos de gran peso molecular no solo poseen fitopotenciales, sino que también presentan importantes beneficios en la curación y el manejo de enfermedades e infecciones.

Varias clases de MSP ya han sido evaluadas a través de los años con la ayuda de técnicas de alto perfil, e incluyen saponinas, taninos, terpenoides, flavonoides, glucósidos, alcaloides, fenoles y aceites esenciales. Estos productos naturales emanan de una vía metabólica común. La bioactividad de estos compuestos está influenciada en gran medida por la ubicación geográfica junto con las condiciones climáticas, el tiempo / período de recolección, el método utilizado para procesar o almacenar las muestras (Bodas *et al.*, 2008). Los alimentos de los animales rumiantes contienen gran cantidad de moléculas complejas que son degradadas por microbios durante la fermentación para liberar energía y otros compuestos químicos (IPCC, 2007). La incorporación de MSP como aditivos biológicos en la alimentación de rumiantes se ha observado durante el año para reducir la pérdida de energía de alimentación a energía metabolizable (Johnson *et al.*, 1991), disminuyendo así la pérdida de energía y la emisión de CH₄ y CO₂ a la atmósfera.

10. EFECTOS DE LAS SAPONINAS EN LA MICROFLORA DE LOS RUMIANTES Y LA PRODUCCIÓN DE METANO (CH₄)

Estructuralmente, las saponinas son glucósidos supramoleculares de esteroides y triterpenoides abundantemente presentes en las plantas (Vincken *et al.*, 2007). Químicamente, las saponinas son compuestos orgánicos complejos que consisten en la cadena principal de la cadena de sacáridos unida al resto de triterpeno o aglicona esteroideal llamada sapogenina (Patra y Sexena, 2010). Los triterpenos son más abundantes en la naturaleza y constan de unos 30 átomos de carbono, mientras que las saponinas esteroides contienen 27 átomos de carbono unidos a espirostanos de 6 anillos o a estructura de furostanos de 5 anillos y pertenecen a la clase de Liliopsida (Patra y Sexena, 2010).

Las saponinas se encuentran principalmente en plantas angiospermas y protegen a las plantas contra el ataque de bacterias y enfermedades de hongos (Szumacher-Strabel y Cieślak, 2012). En la naturaleza, el espirostanol es monodesmosídico y el furostanol bidesmosídico. El resto de aglicona se une con diferentes azúcares que son integrales en la determinación y derivación de un gran número de saponinas. Se han documentado varios trabajos de investigación sobre la interacción de saponinas con metanógenos del rumen. En la actualidad, hay escasez de información sobre la actividad inhibidora de las saponinas en los metanógenos del rumen. Por ejemplo, en el ganado, una fermentación *in vitro* de licor ruminal, saponina de los extractos de hojas de *Sesbania sesban*, semillas de fenogreco (*Trigonella foenum-graecum*) y hojas de escabiosa (*Knautia arvensis*) redujeron las poblaciones de metano en 78%, 22% y 21% respectivamente (Goel *et al.*, 2008). La eficacia de estos fitoconstituyentes es directamente proporcional a la concentración en las dietas ruminales. A 2 mg/ml de extracto de fruta metanólica de *Sapindus rarak*, el nivel de en las concentraciones de metanógenos, no se vio afectado pero se redujo significativamente a la dosis más alta de 4 mg/ml

(Wina *et al.*, 2005). Sin embargo, a dosis menores de 0.4 mg / ml., la saponina del té no tuvo efecto inhibitorio sobre el crecimiento de metanógenos del rumen presentes en el fluido ruminal de las ovejas (Guo *et al.*, 2008). Zhou *et al.* (2012) documentaron que la adición de saponina de té en las concentraciones que van de 400-800 mg / kg no tuvo influencia sobre la digestibilidad de los nutrientes y la fermentación ruminal en cabras. Ramírez-Restrepo *et al.* (2016) opinaron que la saponina que contiene semilla de té de *Camellia sinensis* L. complementada con la dieta del ganado no disminuye la población de protozoos ni reduce las emisiones de CH₄. Goel *et al.*, (2008) también informaron que la inclusión del extracto de semillas de *Trigonella foenumgraecum* que contenía 34.5% a la concentración de 0.14 y 0.29 g/L no disminuyó las poblaciones de metanógeno. Klita *et al.* (1996) informaron que las dosis de 800 y 1600 mg / kg de saponina del extracto de raíz de alfalfa redujeron la población de protozoos ruminales y disminuyeron la digestibilidad ruminal. Patra y Yu (2013) establecieron que la combinación de 0.6 y 1.2 g / l de saponina y nitrato de Quillaja (NO₃) aumentaba las bacterias celulolíticas y degradaba la alimentación. Hu *et al.*, (2005) observaron que la capacidad de las saponinas del té para modificar la fermentación ruminal a través de la inhibición de la liberación de CH₄ y NH₃ es integral en la utilización de nutrientes *in vitro*. Guyader *et al.*, (2016) indicaron que 0.50 g / l de saponina añadida causaron una reducción del 29% de CH₄, mientras que Hu *et al.*, (2005) informaron hallazgos similares en un estudio *in vitro* e informaron un 14% de reducción de CH₄ (ml / g) para 0.24 g / l de saponina añadida.

La sarsaponina y las saponinas esteroides de la *Yucca schidigera*, así como los triterpenoides de *Quillaja saponaria*, tuvieron efectos antimetanogénicos en el estudio *in vitro* (Takahashi *et al.*, 2002) y también en estudios *in vivo* (Pen *et al.*, 2007; Holtshausen *et al.*, 2009). La inclusión de 35% de saponinas de sarsaponinas por 25 días en las dietas de ovejas con 0.12 g / kg y 0.13 g / kg de dieta disminuyó la producción de CH₄ en 7.1% y 15.5%, respectivamente (Santoso

et al., 2004; Wang *et al.*, 2009). Pen *et al.* (2007) también informaron que el extracto de yuca de Mojave (*Yucca schidigera*) que contiene 8-10% de saponinas tuvo una disminución del 11.7% en la producción de CH₄.

Por el contrario, Sliwinski *et al.* (2002) informaron que no hay influencia en los metanógenos como resultado de la adición de dosis bajas de sarsaponinas en las dietas de ovejas. La suplementación del extracto de plantas de *Y. schidigera* que contenía un 6% de saponinas a la dieta de las vacas lecheras y se alimentó durante 28 días no tuvo ningún efecto sobre la producción de CH₄ (Holtshausen *et al.*, 2009). Sin embargo, la disminución en la producción de CH₄ también se ha relacionado con la supresión de genes que controlan la metanogénesis sin cambiar la población de metanógenos (Hess *et al.*, 2003; Guo *et al.*, 2008). Hostettmann y Marston (1995) afirmaron que la inhibición del crecimiento de los protozoos puede ser a través de la destrucción de la membrana celular de los protozoos que se produce como resultado de la capacidad de la unión esterol-saponina. Otro estudio informó que la inclusión de saponina en las dietas favorece la síntesis de una mayor proporción de propionatos que puede resultar en una disminución de la producción de CH₄. Immig (1996) y Varadyova *et al.* (2000) encontraron que las saponinas tienen la capacidad de desplazar o mover la descomposición de los nutrientes animales en el rumen hacia el intestino posterior, reduciendo la metanogénesis por acetogénesis reductora, disminución en la fermentación ruminal y protozoos en el intestino posterior.

Sin embargo, la digestibilidad rápida de las dietas tiene la capacidad de causar un aumento múltiple en la metanogénesis debido al aumento significativo de la población bacteriana y fúngica (Pen *et al.*, 2007). Además, la correlación inversa encontrada en medio de la tasa de aprobación de ingesta y la emisión de CH₄ puede deberse a un aumento en la degradación de la fibra en el rumen, sin embargo, se ha informado que las saponinas reducen la velocidad de paso de la digesta (Klita *et al.*, 1996). La tasa de metanogénesis puede aumentar después de

la interacción de las saponinas con la velocidad de paso. Sin embargo, Lu y Jorgensen (1987) informaron que la influencia fisiológica de la saponina puede ser no significativa en comparación con los efectos microbiológicos. Wallace (2004) informó que el extracto que contiene saponina tiene el potencial de suprimir las actividades bacterianas y potenciar la proteína microbiana en el fluido del rumen recolectado de bovinos y ovinos. Sin embargo, con base en la información disponible, se puede inferir que las saponinas podrían ejercer un efecto inhibitorio sustancial a dosis más altas sobre la proliferación de metanógenos.

11. EFECTOS DE LOS TANINOS EN LA MICROFLORA DE LOS RUMIANTES Y LA PRODUCCIÓN DE METANO (CH₄)

Los taninos son compuestos hidrófilos de peso supra molecular capaces de formar un complejo de proteína de tanino debido a la gran proporción de grupos hidroxilo fenólicos presentes en los taninos. Se clasifican en tres grupos según sus estructuras químicas. Hay dos clases principales de taninos hidrolizables (TH), taninos complejos (no clasificados) y taninos condensados (TC). Mientras que los TH son sustituidos por un núcleo de carbohidratos (generalmente glucosa) esterificado con ácido gálico (gallotanina) o ácido elágico (l-agitanina), TC son unidades poliméricas de flavanol (flavan-3-ol) comúnmente unidos por enlaces carbono-carbono en los 4/6 posición (Ferreira *et al.*, 1999; Le Bourvellec y Ranard, 2012).

Por otro lado, los taninos complejos son taninos en los que una unidad de catequina está unida glicosídicamente a unidades de galotanina o l-agitanina y son parcialmente hidrolizables debido al acoplamiento carbono-carbono de su unidad de catequina (Khanbabaee y van Ree, 2001).

Los taninos como un metabolito secundario de la planta al que se puede acceder fácilmente y usar adecuadamente como fuente natural de aditivos alimentarios para mejorar la utilización digestiva de proteínas (Hernández *et al.*, 2014; Salem *et al.*, 2014), mitigan la producción de CH₄ y CO₂ producciones y mejorar la

productividad animal en las industrias basadas en la agricultura (Huang *et al.*, 2017). Los taninos también tienen actividades antimicrobianas, antioxidantes y antiparasitarias que son útiles en la producción de animales rumiantes. Cipriano-Salazar *et al.* (2018) estableció que el ácido tánico tiene el potencial de inhibir las bacterias ruminales de las ovejas. Informaron que el ácido tánico ≤ 1.25 mg / L se puede utilizar de manera eficiente para manipular las actividades microbianas ruminales y mejorar la producción animal al mejorar la utilización del alimento. El forraje que contiene taninos se puede unir adecuadamente a las proteínas vegetales en exceso, precipitándolas fuera del líquido del rumen y en el proceso previene la formación de una espuma estable característica de la hinchazón de los pastos. Esta tendencia a la no hinchazón y la inhibición de los parásitos internos son rasgos exquisitos de los taninos para rumiantes de pastoreo (Hoste *et al.*, 2006). La capacidad de los taninos para influir en los metanógenos y la fermentación ruminal depende únicamente de la vasta diversidad estructural de taninos, sus fuentes, dosificación, estructura química, tipos y especies de microorganismos del rumen.

Se sabe que los taninos ejercen actividades antimetanogénicas por inhibición directa de metanógenos o interferencia indirecta con la proliferación de protozoos, lo que conduce a la restricción de la transferencia de H₂ entre especies (Bhatta *et al.*, 2009). Recientemente, Jayanegara *et al.* (2015) en un estudio *in vitro* establecieron que los taninos hidrolizables y condensados tienen efectos positivos sobre la emisión de CH₄, la proteína microbiana y la fermentación ruminal. Informaron que los taninos hidrolizables tienen la capacidad de disminuir la producción de CH₄ y menos efectos adversos sobre la digestión de nutrientes que los taninos condensados.

La adición de concentraciones bajas a medias (<50 g / kg MS) de TC en regiones de forraje templado mejora la utilización de polipéptidos en el rumen de microorganismos sin posible alteración en el consumo de alimento y la

degradación de nutrientes (Barry y McNabb, 1999; Waghorn, 2008). Esto se debe a que los TC reducen la degradación de la proteína y eleva la cantidad de proteína de la dieta que llega a la luz intestinal para su absorción (Wang *et al.*, 1994, 1996). Se logró una reducción en la producción de CH₄ entérico (20-26%) a concentraciones más altas de TC obtenidas de los extractos foliares de árboles tropicales de *F. benghalensis* (272 g / kg MS), *A. heterophyllus* (179 g / kg MS) y *A. indica* (184 g / kg MS) a 4% de concentración en alimentos de ovejas.

El grado de inhibición de metanogénesis (estaba en el orden: *Ficus benghalensis* (20.4%), *Artocarpus heterophyllus* (20.8%), *Azadirachta indica* (26.1%) (Malik *et al.*, 2017). Estos hallazgos sugieren que la TC tiene la capacidad de reducir la emisión de CH₄ sin efectos perjudiciales para los índices de fermentación relevantes. Beauchemin *et al.* (2007) informaron que 0, 1 o 2% de TC obtenida de quebracho rojo (*Schinopsis quebracho-colorado*) no disminuyó la producción de CH₄ entérico en el ganado de carne. Carulla *et al.* (2005) opinaron que la producción de CH₄ de ovejas disminuyó solo en un 12% cuando se agregaron extractos de TC de un 2.5% a la dieta animal. Se observaron reducciones de 14% y 29% de las emisiones de CH₄ cuando se alimentaron vacas con 0.9 y 1.8% de MS respectivamente del extracto de tanino de *A. mearnsii* (Grainger *et al.*, 2009).

En otro ensayo *in vitro*, Pham *et al.* (2017) informaron que la administración de suplementos de tanino (0.3%) a la dieta del buey redujo significativamente la metanogénesis y mejoró la productividad animal. Una reducción significativa en los números de protozoos y metanógenos con disminución simultánea en la producción de CH₄ en el rumen fue reportada por Sczechowiak *et al.* (2016) con la incorporación de dietas mixtas que contienen extracto de hojas secas de *Vaccinium vitisidaea* con 4.83 g / kg de MS de TC y 32.2 g / kg de MS de aceites de soja y pescado mezclados. Waghorn (2008) opinó que la inclusión de 30 g de TC / kg de MS de *L. corniculatus* tiene efectos beneficiosos sobre la producción de rumiantes, incorporación de TC en concentraciones más altas tiene la tendencia

de impedir el consumo de alimento animal debido a su naturaleza astringente, lo que reduce la digestión de proteínas y nutrientes al proteger en exceso las proteínas. Esto conduce a disminuir la actividad microbiana del rumen y la inhibición de las actividades de enzimas digestivas endógenas que afectan negativamente el rendimiento y las producciones de los animales. Li *et al.* (1996) indicaron que 1.0 mg TC / g MS previene el timpanismo. Wang *et al.* (2006) y Sottie *et al.* (2014) informaron que la incorporación de forraje que contiene TC es un método efectivo que podría usarse para controlar el timpanismo (Wang *et al.*, 2006; Sottie *et al.*, 2014).

Los taninos de mimosa (tanino hidrolizado), castaño (tanino hidrolizado) y quebracho (tanino condensado) se usan para controlar varios parásitos intestinales en los rumiantes (Min y Hart, 2003; Min *et al.*, 2005, 2015). Jin *et al.* (2015) y Huang *et al.* (2015) opinaron que en el sistema del tracto digestivo de rumiantes, el crecimiento de *E. coli* O157: H7, una de las bacterias patógenas mortales transmitidas por los alimentos, se inhibió significativamente por los taninos condensados que el forraje de trébol morado que la pradera contiene. Sin embargo, Huang *et al.* (2015) en su estudio observaron que los corderos desafiados con bacterias patógenas *E. Coli*O157: H7 y posteriormente alimentados con dietas que comprenden 36 g de TC / kg de trébol de pradera morada MS tenían menos *E. coli* O157: H7 en comparación con los corderos alimentados sin taninos condensados de las praderas de trébol morado. Jin *et al.* (2015) en su propio estudio demostraron que el ganado en pastoreo alimentado con 16-20 g de TC / kg de MS tuvo una reducción de la excreción fecal de *E. coli* en comparación con el ganado alimentado sin TC. Min *et al.* (2007) también opinaron que la inclusión de 15 g / kg de MS de tanino de castaño tuvo un efecto de desprendimiento fecal disminuido con *E. Coli* en el ganado alimentado con dietas de heno (Min *et al.*, 2007). Sin embargo, Lee *et al.* (2009) y Berard *et al.* (2009) opinaron que a dosis menores de <13.5 g TC / kg MS que la esparceta y *S. lespedeza* no tuvieron influencia en el desprendimiento de *E. coli* fecal. Además,

se observó una reducción en el consumo de alimento y peso corporal cuando se suplementaron diferentes dosis de extracto de taninos de *Mimosa pudica* (TC) 0.5%, 1.5%, 2.0%, 2.5% a las dietas de pollos de engorda (Iji *et al.*, 2004). Se documentó un efecto negativo en aves alimentadas con dietas suplementadas con taninos, lo que resultó en una digestibilidad ileal reducida de la energía, las proteínas y los aminoácidos (Huang *et al.*, 2017). Además, observaron que la inclusión del 10% de extracto de taninos de quebracho causó un aumento en el peso corporal de las aves del experimento, un aumento en la relación de cripto/vellosidades del intestino y una disminución en la excreción de oocistos. Sugirieron que el extracto de quebracho podría utilizarse como un agente profiláctico anticoccidial eficaz. Además, Zotte y Cossu (2009) observaron una mejoría significativa en el aumento de peso en un ensayo de 6 semanas cuando el 1% y el 3% de los taninos de quebracho rojo complementaron la dieta de los conejos. Ibrahim *et al.* (2014) establecieron que el ácido tánico (1%) tiene el potencial de disminuir el peso corporal y la ingesta de alimento de pollos de engorde bajo estrés. En general, la actividad de la microflora ruminal puede reducirse mediante la adición de TC (Priolo *et al.*, 2000; Cieslak *et al.*, 2014). Vasta *et al.* (2009) documentaron en un estudio *in vitro* que los taninos dietéticos redujeron la biohidrogenación ruminal y también aumentaron la expresión de la proteína $\Delta 9$ -desaturasa muscular en ovejas. En su estudio, afirmaron que la supresión de la biohidrogenación ruminal se debía a la inhibición de la proliferación microbiana ruminal y no a la interacción directa de los taninos con las enzimas operativas en la vía de biohidrogenación.

Ramírez-Restrepo *et al.* (2016) observaron que la suplementación (30 g / día) de las saponinas de semillas de té dietéticas disminuyó la ingesta de materia seca en los novillos. Francisco *et al.* (2015) también afirmaron que la adición de diferentes dosis de TC que varían de 2.7 a 15.0 g / kg de MS de *Cistus ladanifer* en combinación con diferentes dosis de aceite vegetal (0, 40 y 80 g / kg de MS) no tuvo efecto observable en el contenido de ácido linoleico conjugado en la grasa

intramuscular. Kamel *et al.* (2018) reportaron dietas de cordero suplementadas con 20 g / kg de aceite de girasol y 40 g / kg de taninos de quebracho, aumentaron el contenido de ácido linoleico conjugado en la grasa intramuscular de los corderos.

12. EFECTO DE ACEITE ESENCIAL EN LA MICROFLORA DE LOS RUMIANTES Y LA PRODUCCIÓN DE METANO (CH₄)

Los aceites esenciales (AE) son la recolección de productos naturales derivados de las fracciones volátiles de la planta mediante diferentes métodos analíticos. Con base en la ruta de la biosíntesis, se clasifican en dos grupos químicos: terpenoides y fenilpropanoides. Los terpenoides se derivan de una estructura isoprenoide (C₅H₈) a través de la ruta metabólica del mevalonato con monoterpenoides y sesquiterpenoides como representantes más abundantes. Los fenilpropanoides consisten en tres cadenas laterales unidas a un anillo aromático de seis carbonos y se sintetizan a través de la ruta metabólica del ácido schikímico (Calsamiglia *et al.*, 2007). Existen como aceites volátiles o etéreos; son compuestos oleosos aromáticos en forma líquida que pueden obtenerse de hojas, tallos, raíces, flores, semillas y frutos de plantas.

Los aceites esenciales son una de las sustancias bioactivas más prometedoras que pueden usarse para minimizar el impacto ambiental de la producción de rumiantes porque se pueden utilizar para mejorar la fermentación ruminal, y mitigar las emisiones de CH₄ (Cobellis *et al.*, 2016, McGrath *et al.*, 2017). Se sabe que los aceites esenciales tienen efectos beneficiosos, como propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antimicrobianas, capacidad para mejorar la secreción digestiva, mejorar la circulación sanguínea y el estado inmune (Acamovic y Brooker, 2005; Brenes y Roura, 2010). Se ha informado que los factores genéticos y ambientales afectan la composición del aceite esencial en las plantas. Otros factores como la ubicación geográfica, especies vegetales, partes

de la planta utilizadas, momento de la cosecha y el método de extracción también afectan en gran medida la composición del aceite esencial (Faleiro *et al.*, 2002).

Dorman y Deans (2000) postularon que los terpenoides y los fenilpropanoides ejercen sus acciones antimicrobianas a través de su interacción con la membrana celular. Esta interacción se desencadena por un cambio conformacional en la membrana celular, lo que conduce al escape de iones a través de la membrana celular. Cox *et al.* (2001) sugirieron que las alteraciones en la utilización de la energía microbiana pueden tener un impacto negativo sobre el crecimiento de la microflora del rumen y conducir a la muerte microbiana. Los principales efectos positivos del aceite esencial en los rumiantes incluyen: aumentando del propionato, disminuyendo CH_4 , acetato y NH_3 sin influencia negativa sobre los ácidos grasos volátiles (Busquet *et al.*, 2005a, Gunal *et al.*, 2014). La eficacia de los aceites esenciales para inhibir el crecimiento de microorganismos del rumen depende de sus concentraciones, tipo, dosis y las especies de microbios en el fluido ruminal. Busquet *et al.* (2005) informaron que 2.2 mg / l de carvacrol redujeron significativamente el péptido-N y aumentaron el NH_3 después de 2 horas de alimentación, lo que indica una inhibición de la proteólisis o estimulación de lisis de péptidos (Busquet *et al.*, 2005), quienes afirmaron que las dosis más altas de ≥ 300 mg / l de carvacrol aumentaron significativamente el pH y el butirato pero redujeron la proporción de acetato, propionato y ácidos grasos volátiles. Las actividades antimicrobianas del timol también se han documentado. Evans y Martins (2000) informaron los efectos del timol en *Streptococcus bovis* y *Selenomonas ruminantium* en relación con la utilización de energía; los resultados mostraron que el compuesto inhibía el metabolismo microbiano mediante la reducción de las concentraciones de CH_4 y lactato. A una dosis más alta de 400 mg / l, hubo reducciones significativas en la digestión de nutrientes y la producción total de AGV. Sin embargo, las concentraciones justas llevaron a una elevación en la proporción de acetato a propionato. Además, el índice de susceptibilidad de timol en *S. ruminantium* fue mayor en comparación con *S. bovis*, lo que resultó en

una acumulación marcada de lactato. Castillejos *et al.* (2006) documentaron que 50 mg / L de timol no tuvieron influencia en los microbios del rumen, sin embargo, a una dosis de 500 mg / L, AGVT y NH₃ disminuyeron y también se registró un aumento en la proporción de acetato a propionato. Cardozo *et al.* (2005) encontraron que el timol tiene la capacidad de reducir la proporción de acetato a propionato en el fluido del rumen del ganado. La efectividad de carvacrol y timol como agentes antimicrobianos potenciales puede deberse a la presencia de grupos hidroxilo (OH-) (Ultee *et al.*, 2002; Benchaar *et al.*, 2007) y compuestos de menor peso molecular (Calsamiglia *et al.*, 2007).

Las actividades antimicrobianas del cinamaldehído, eugenol y anetol contra bacterias gram-positivas y gram-negativas se han demostrado mucho antes. El cinamaldehído, un ingrediente activo del aceite de canela, tiene la capacidad de modificar el metabolismo N de la microflora ruminal mediante la inhibición de la peptidólisis, pero no presentó un efecto negativo sobre las proporciones totales de AGV (Cardozo *et al.*, 2004). Se registró una disminución en el AGV total a dosis más altas de cinamaldehído con mayor actividad antimicrobiana (Busquet *et al.*, 2006). Se han documentado los efectos del aceite de canela y del cinamaldehído en la proporción de AGV individuales (acetato, propionato y butirato). Calsamiglia *et al.* (2007) informaron que el aceite de canela tenía efectos crecientes sobre el acetato sin influencia en las proporciones de propionato y butirato, mientras que el cinamaldehído aumenta el propionato sin afectar las proporciones de acetato y butirato.

Busquet *et al.* (2005) indicaron que a dosis bajas, el cinamaldehído a largo plazo, reveló una diferencia no significativa en la proporción de los AGV individuales, pero a concentraciones más altas de 31.2 y 312 mg / l, el cinamaldehído disminuyó significativamente la proporción de acetato y aumentó las proporciones de propionato y butirato (Busquet *et al.*, 2005). Patra y Yu (2012) informaron que la dosis de 1.0 g / L de aceite esencial de orégano tuvo una reducción del 87% en la

producción de CH₄. Pawar *et al.* (2014) en su estudio *in vitro* observaron una inhibición de CH₄ por el aceite esencial de corteza de canela de Ceilán e informaron la inhibición completa de CH₄ a una dosis más alta de 833 ml/L. Sin embargo, Roy *et al.* (2014) informaron una disminución del 5.3% en la emisión de CH₄ usando aceite de canela. Macheboeuf *et al.* (2008) reportaron una disminución del 98% en las emisiones de CH₄ cuando se administró 5mM de aceite esencial de orégano o aceite esencial de canela, pero solo se observó un 12% de inhibición cuando el aceite esencial de eneldo recibió la misma dosis.

Sin embargo, observaron que carvacrol y trans-cinamaldehído en la concentración de 5 mM mostraron una mayor disminución y eficacia de mitigación en comparación con el aceite esencial de orégano y el aceite esencial de canela. Wang *et al.* (2009) demostraron que la combinación de aceites esenciales obtenidos de orégano (0.25 g / d) con ovejas durante 15 días disminuyó la producción de CH₄ mientras que Beauchemin y McGinn (2006) y Tomkins *et al.* (2015) no reportaron ningún efecto en la emisión de CH₄ del ganado alimentado con una mezcla comercial y aceites esenciales. De acuerdo con Agarwal *et al.* (2009) 0,33 ml / l de aceite de menta elevó el nivel de metanógenos del rumen y redujo la producción de CH₄ en un 20%, la densidad poblacional de las bacterias totales fue similar a la del control, pero los hongos, Ruminococcus flavefaciens y metanógenos aumentaron en 4, 6 y 2 veces, respectivamente, según lo determinado con la PCR en tiempo real. A niveles de 1.0 y 2.0 µl, la densidad de población de bacterias totales, hongos, fibrobacter succinógenos y metanógenos disminuyó drásticamente y cayó por debajo de los valores de control.

Joch *et al.* (2016) opinaron que la dosis de 900 mg / L de geraniol disminuyó las emisiones de CH₄ en un 97,9% en comparación con el control; sin embargo, la AGV total y la digestibilidad de la materia seca se redujeron. Lin *et al.* (2012) en un experimento *in vitro* evaluaron la capacidad de mezclas de aceites esenciales (AE)

de tomillo, orégano, canela y limón. Observaron que el AE del tomillo disminuyó la producción de CH₄ en comparación con la de canela y limón.

Eugenol es el principal ingrediente activo del brote de clavo de olor y el aceite de canela (Davidson y Naidu, 2000). Cardozo *et al.* (2006) encontraron que la mezcla de cinamaldehído (180 mg / día) y eugenol (90 mg / día) disminuyó la digestibilidad total y la ingesta de agua en el ganado de carne. Busquet *et al.* (2003) también informaron una reducción del consumo de materia de seca del ganado lechero suplementado con 500 mg / día de cinamaldehído. Kung *et al.* (2008) mostraron que la inclusión de aceite esencial a la concentración de 1.2 g / día en la vaca tuvo un aumento en la ingesta de materia seca.?

Tager y Krause (2011) informaron que el ganado lechero alimentado con 10 g / día de aceite esencial de cinamaldehído no influyó en la digestibilidad de los nutrientes y la producción de leche. En otro estudio, donde la concentración de aceite esencial se redujo a 0,85 g / día, no hubo interferencia en la degradación de la materia orgánica (MO), la proteína cruda (PC) y la fibra detergente neutra (FDN) (Santos *et al.*, 2010). Tager y Krause (2011) encontraron que el aceite esencial a la dosis de 10 g / día administrada a vacas lecheras influyó negativamente en la fermentación ruminal, mientras que la utilización de nutrientes no se vio afectada. Lin *et al.* (2013) encontraron que la inclusión de 1 g / día de aceite esencial de clavo (AEC) o mezcla de eugenol, carvacrol, citral y cinamaldehído (EOAC) no produjo ninguna influencia negativa en la digestibilidad de los nutrientes de las ovejas, pero observaron que la inclusión de EOAC inhibió el crecimiento de metanógenos como *Butyrivibrio fibrisolvens* y *Fibrobacter succinogenes*. La inclusión de eugenol en el aceite de clavo aumentó la utilización de proteínas y mejoró la eficiencia energética de los rumiantes (Calsamiglia *et al.*, 2007).

Cobellis *et al.* (2016) encontraron que el aceite esencial que está compuesto de compuestos fenólicos (carvacrol) o carbonilo (cinamaldehído) exhibió una mayor actividad antimicrobiana que la de los monoterpenos. Hristov *et al.* (2008)

observaron que la inclusión de 10 y 100 mg / L de aceite de citronela no alteró la proporción total de ácidos grasos volátiles. Benchaar *et al.* (2007) establecieron que la inclusión de 400 mg / L de carvacrol y 800 mg / L de eugenol tuvo efectos crecientes sobre butirato y efectos decrecientes sobre las proporciones de propionato, sugiriendo que concentraciones más altas de carvacrol y eugenol inhibieron las bacterias productoras de propionato y aumentaron las bacterias productoras de butirato.

Otro componente del aceite esencial de probada actividad antimutagénica es la capsicina, que es un triterpenoide presente en el pimiento (*Capsicum annum ssp.*). La inclusión de 0.3, 3, 30 y 300 mg / dl de aceite de capsicum en el fluido ruminal de la dieta del ganado vacuno afectó las proporciones de la relación AGV, NH₃ y acetato a propionato a pH diferente en un estudio *in vitro* (Cardozo *et al.*, 2005). A pH 7.0 las proporciones de acetato a propionato aumentaron mientras que las proporciones de AGVT y NH₃ disminuyeron. Sin embargo, a pH 5.5 las proporciones de acetato a propionato disminuyeron, NH₃ se redujo y las proporciones de AGV y propionato aumentaron, lo que sugiere una mejora en la utilización de nutrientes. El pH más bajo parece mover las moléculas hacia regiones hidrofóbicas, lo que augura un mayor efecto antimetanogénico (Calsamiglia *et al.*, 2007).

12.1 EFECTO DE LOS METABOLITOS SECUNDARIOS DE LAS PLANTAS SOBRE EL METANO (CH₄) Y LOS PARÁMETROS DE FERMENTACIÓN RUMINAL

En el Cuadro 1 se observan los efectos de los metabolitos secundarios de las plantas sobre el metano (CH₄) y los parámetros de fermentación ruminal.

Cuadro 1: Efectos de los metabolitos secundarios de las plantas sobre el metano (CH₄) y los parámetros de fermentación ruminal.

Fuentes de plantas y (MSP)	Dosis	Animales	Efecto en CH ₄	Efecto en los parámetros de fermentación	Referencias
<i>Acacia mearnsii</i> (Tanino condensado)	0.615g/g TC/kg de MS	Oveja	Producción reducida de CH ₄ (13%)	Disminución de la concentración de amoniaco ruminal	Carulla et al. (2005)
<i>Leucaena leucocephala</i> (Tanino Condensado)	40 g TC /kg de MS	Oveja	Producción reducida de CH ₄ (25.7%) (25.7%)	No detectado	Dias-Moreira et al. (2013)
<i>Castanea sativa</i> (Tanino condensado)	68.6%	Oveja	Sin alteración en la producción de CH ₄	Tuvo efectos sobre la fermentación ruminal	Wischer et al. (2014)
<i>Quercus valonea</i> (Tanino condensado)	63.3%	Oveja	Sin alteración en la producción de CH ₄	Tuvo efectos sobre la fermentación ruminal	Wischer et al. (2014)
<i>Terminalia chebula</i> (Tanino condensado)	47.2 g MS/kg	Oveja	Producción reducida de CH ₄ (24%)	Aumento en la digestibilidad	Patra et al. (2011)
<i>Ficus benghalensis</i>	(272g/kg)	Oveja	20.4%	No influye en la materia seca y	Malik et al.

Fitoquímicos de taninos, saponinas y aceites esenciales exhiben microorganismos antiruminales para mitigar la producción de metano ambiental en la ganadería

<i>(Tanino condensado)</i>	MS)			la digestibilidad	(2017)
<i>Artocarpus heterophyllus (Tanino condensado)</i>	179g/kg MS	Oveja	20.8%	No influye en la materia seca y la digestibilidad	Malik et al. (2017)
<i>Azadirachta indica (Tanino condensado)</i>	184g/kg MS	Oveja	26.1%)	No influye en la materia seca y la digestibilidad	Malik et al. (2017)
<i>Salix spp. (Tanino condensado)</i>	12 g/kg dieta	Oveja	Sin efecto	Sin efecto	Ramirez-Restrepo et al. (2009)
<i>C. sativa wood (Tanino Hidrolizado)</i>	20%	Oveja	Aumentado CH ₄ (21.5%)	Digestibilidad, AGVT, proporción de acetato a propionato, números de protozoos no afectados	Sliwinski et al. (2002)
<i>Calliandra calothyrsus (Tanino condensado)</i>	11.5%	Cordero	Reducción de CH ₄ (21.5%)	Disminución de la digestibilidad	Tiemann et al. (2008)
<i>Lespedeza striata (Tanino condensado)</i>	151 g TC/kg de MS	Cabras	Disminución de la producción de CH ₄ (54.8%)	Protozoos reducidos	Animut et al (2008a)
<i>Lespedeza cuneate (Tanino condensado)</i>	153 g TC/kg de MS	Cabra	Producción reducida de CH ₄ (46.3%)	Protozoos reducidos	Puchala et al (2012a)
<i>Lespedeza cuneate (Tanino)</i>	20 % of TC/kg de	Cabra	Producción reducida de CH ₄	Protozoos reducidos	Puchala et al (2012b)

Fitoquímicos de taninos, saponinas y aceites esenciales exhiben microorganismos antiruminales para mitigar la producción de metano ambiental en la ganadería

condensado)	MS		(40.9%)		
<i>Lespedeza cuneata</i> (<i>Tanino condensado</i>)	17.7%	Cabra	Producción reducida de CH ₄ (50.2%)	AGVT y la relación de acetato a propionato no se ve afectada	Puchala et al. (2005)
<i>Lespedeza cuneata</i> (<i>Tanino condensado</i>)	14%	Cabra	Producción reducida de CH ₄ (43.1%)	La digestibilidad y el número de protozoos disminuyeron, AGVT y la proporción de acetato a propionato no se vieron afectados	Animut et al. (2008b)
<i>Lespedeza cuneata</i> (<i>Tanino condensado</i>)	2.6%	Novillo	Disminución de la producción de CH ₄	Sin efecto en la producción total de gas	Naumann et al. (2015)
<i>Desmodium paniculatum</i> (<i>Tanino condensado</i>)	9%	Novillo	Disminución de la producción de CH ₄	Sin efecto en la producción total de gas	Naumann et al. (2015)
<i>Acacia mearnsii</i> <i>zarzo negro</i> (mimosa); 700 g/kg DM CT; <i>Castanea sativa</i> Mill (chestnut); 800 g/kg DM HT	14.9 mg/kg MS	Novillo	sin efecto en CH ₄	Sin efecto sobre los nutrientes ingesta, digestibilidad	Krueger et al. (2010)
<i>Acacia mearnsii</i> (<i>Tanino condensado</i>)	603 g TC/kg de MS	Ganado	Producción reducida de CH ₄ (29.0%)	Disminución de la digestibilidad	Grainger et al. (2009)
<i>Vaccinium vitis</i>	2 g CT/	Ganado	Reducción	Protozoos	Cieslak et

Fitoquímicos de taninos, saponinas y aceites esenciales exhiben microorganismos antiruminales para mitigar la producción de metano ambiental en la ganadería

<i>idaea</i> (Tanino condensado)	kg de MS		de la producción de CH ₄ . (11.3%)	reducidos	al. (2012)
<i>Schinopsis quebrachocolado</i> (Tanino Condensado).	2%	Ganado	Sin alteración en la producción de CH ₄ .	No detectado	Beauchemin et al. (2007)
<i>Acacia mearnsii</i> (Tanino Condensado)	0.6%	Ganado	Reducción de la producción de CH ₄ (8%).	Pérdida de energía relativa reducida	Junior et al. (2017)
<i>Te</i> (Saponinas)	0.50 g/L	Vaca	CH ₄ reducido (29%)	Reducción de la concentración de protozoos.	Guyader et al. (2016)
<i>Yucca schidigera</i> (saponin)	10 g/kg de MS	Vaca	Sin efecto	Sin efecto en AGVT, número de protozoo, amoniaco, propionato	Holtshausen et al. (2009)
<i>Quillaja saponaria</i>	10 g/kg de MS	Vaca	Sin alteración en la producción de CH ₄ .	Sin efecto en AGVT, número de protozoo, amoniaco, propionato	Holtshausen et al. (2009)

Fitoquímicos de taninos, saponinas y aceites esenciales exhiben microorganismos antiruminales para mitigar la producción de metano ambiental en la ganadería

Te (saponinas)	4.1 g/kg diet	Cordero	Reducción de CH ₄ (28.3%)	AGVT aumentó; relación acetato / propionato no afectada; número de protozoos disminuido	Mao et al. (2010)
<i>Quillaja saponaria</i> (saponina)	13.5 g/kg de diet	Oveja	Reducción de CH ₄ (21.7%)	AGVT disminuido, Digestibilidad, acetato a propionato y números de protozoos inafectado	Pen et al. (2007)
<i>Yucca schidigera</i>	13.8 g/kg de diet	Oveja	Reducción de CH ₄ (15.6%)	AGVT disminuido, digestibilidad, acetato a propionato y números de protozoos inafectado	Pen et al. (2007)
Saponinas de te	5g/kg dieta	Oveja	Sin efecto	La proporción de AGVT y acetato a propionato no se ve afectada.	Yuan et al. (2007)
Frutas de <i>saponaria</i> (saponina)	5 g/kg BW	Oveja	Reducción de CH ₄ (7.8%)	La digestibilidad, la proporción de acetato a propionato y los	Hess et al. (2004)

Fitoquímicos de taninos, saponinas y aceites esenciales exhiben microorganismos antiruminales para mitigar la producción de metano ambiental en la ganadería

				protozoos disminuyeron; AGVT aumentó.	
Té (saponina)	0.24 g/L	Oveja	CH ₄ reducido (14%)	Protozoos reducidos	Guo et al. (2008)
Saponinas De Lucerna (Saponina)	27.8%	Oveja	Sin efecto	AGVT y acetato a propionato; inafectado; Digestibilidad y Protozoos disminuidos.	Klita et al. (1996)
<i>Medicago sativa</i> (saponina)	20.4 g/kg MS	Oveja	Reducción de CH ₄ (7.1%)	AGVT y acetato a propionato; inafectado	Goel et al. (2008)
Semilla de te (saponina)	30 g/día	Ganado	CH ₄ reducido (22%)	AGVT, acetato y propionato no fueron afectados.	Ramírez-Restrepo et al., 2016
Semilla de te (saponina)	0.8%	Novillo	Reducción de CH ₄ (32.5%)	Conteo de protozoos, disminución de la producción de amoníaco-N.	Jadhav et al. (2016)
<i>Quillaja saponaria</i> (saponina)	50 – 70 g/kg	Vaca	Sin efecto	Disminución de los números de protozoos, producción de amoníaco, sin efecto en AGVT	Pen et al. (2006)

Fitoquímicos de taninos, saponinas y aceites esenciales exhiben microorganismos antiruminales para mitigar la producción de metano ambiental en la ganadería

<i>Yucca shidigera</i> (Sarsaponina)	5 g/día	Vaca	Disminución de CH ₄	Mayor producción de gas y producción de AGVT.	Singer et al. (2008)
<i>Trifolium alexandrinum</i> (Berseem fodder) saponina	45% de la dieta	Ganado	Disminución de CH ₄ (17%)	Sin efecto	Malik et al. (2010a)
<i>Medicago sativa</i> (forraje de <i>Lucerna</i>) saponina	45% de la dieta	Ganado	Disminución de CH ₄	Número de protozoos disminuidos	Malik et al. (2010b)

CH₄: metano, AGVT: ácido graso volátil total, TC: tanino condensado, TH: tanino hidrolizado, MS: materia seca

13. CONCLUSIONES

Esta revisión proporciona una fuerte evidencia de que los MSP revisados son efectivos para modificar los parámetros de fermentación ruminal, mitigar la producción de CH₄ y también sirven como agentes antimicrobianos sin afectar negativamente la producción animal. Sin embargo, el mecanismo de acción de MSP en la metanogénesis del rumen aún no se ha dilucidado por completo.

De nuevo, se han documentado los efectos perjudiciales de estos MSP en el consumo de alimento, la digestibilidad de los nutrientes, los ácidos grasos volátiles totales y la fermentación ruminal. Sin embargo, estos efectos positivos o negativos observados dependen de la composición y la dosificación administrada de MSP, composición dietética, pH y especies metanogénicas. Por lo tanto, se necesita más trabajo de investigación para determinar las dosis diarias efectivas en las dietas de animales sin ningún efecto perjudicial, identificar y caracterizar sus compuestos activos, evaluar el modo de acción de cada MSP, determinar la implicación de costo de su uso para modular la nutrición de los rumiantes a nivel de granja y para evaluar los potenciales antimetanogénicos de los principios activos después de ensayos *in vivo* prolongados.

14. BIBLIOGRAFÍA

Acosta, A. (2008). Efectos negativos y positivos del consumo de forrajes ricos en taninos en la producción de caprinos. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, vol. 9, núm.

Aguiar, Z. (2014). Métodos utilizados para reducir la producción de metano endógeno en rumiantes.

Ahumada, A. (2016). Saponinas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): un subproducto con alto potencial biológico. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*.

Acamovic, T. y Brooker, J.D. (2005). Bioquímica de los metabolitos secundarios de las plantas y sus efectos en animales. *Actas de la Sociedad de Nutrición*.

Agarwal, N., C. Shekhar, R. Kumar, LC Chaudhary y DN Kamra, 2009. Efecto del aceite de menta (*Mentha piperita*) sobre la metanogénesis *in vitro* y la fermentación del alimento con licor de rumen de búfalo. *Anim Alimentar sci. Technol.*, 148: 321-327.

Anantasook, M. (2014). Effects of *Momordica charantia* Saponins on In vitro Ruminal Fermentation and Microbial Population. *Journal List Asian-Australas J Anim Sciv.*29.

Ávalos, A. Pérez, E. (2009). Metabolismo secundario de plantas. *Reduca (Biología)*. Serie Fisiología Vegetal. 2 (3): 119-145.

Balderas, H. (2015). *Proteccion natural : Uso de aceites esenciales en bovinos*. Entorno Ganadero 73, BM Editores.

Barry, T., McNabb, W. (1999). The implications of condensed tannins on the nutritive value of temperate forages fed to ruminants.

Beauchemin, K.A. y McGinn, S.M. (2006). Emisiones de metano del ganado de carne: efectos del ácido fumárico, del aceite esencial y del aceite de canola. *J. anim. Sci.*, 84: 1489-1496.

Beauchemin, A. Kreuzer, M. O'Mara, F. McAllister, F. (2008). Nutritional management for enteric methane abatement: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 2008, 48, 21–27.

Benchaar, C. Petit, H. Berthiaume, R. Ouellet, D. Chiquette, J. Chouinard, P. (2007). Efectos de los aceites esenciales sobre la digestión, la fermentación ruminal, las poblaciones microbianas del rumen, la producción de leche y la composición de la leche en vacas lecheras alimentadas con ensilaje de alfalfa o maíz. *J Dairy Sci.* ; 90 : 886–897.

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 on methanogenic archaea and protozoal populations. *J. Dairy Sci.* ; 92:5512–5522.

Bodas, R. (2012). Manipulation of rumen fermentation and methane production with plant secondary metabolites. *Animal Feed Science and Technology* 176(1-4):78-93

Bodas, R. Lopez, S. Fernandez, M. Garcia, R. Rodríguez, A. Wallace, R. Gonzalez, J. (2008). In vitro screening of the potential of numerous plant species as antimethanogenic feed additives for ruminants. *Anim Feed Sci Technol*.

Brenes, A. y Roura, E. (2010). Aceites esenciales en la nutrición avícola: principales efectos y modos de acción. *Ciencia y tecnología de la alimentación animal Volumen 158, números 1–2, páginas 1-14.*

Burt, S. (2004). Essential oil: their antibacterial properties and potential applications in foods a review. *Int. J. Food. Microbiol.* 94: 223-253. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15246235> (03 de Julio 2017).

Busquet, M. Greathead, H. Calsamiglia, S. Ferret, A. Y Kamel, C. (2003). Efecto del extracto de ajo y el cine sobre la producción, composición y residuos en la leche en la producción de alta. *ITEA*, 24: 756-758.

Busquet, M, Calsamiglia, S. Hurón, A. Cardozo, P. Kamel, C.(2005a). Efectos del cinamaldehído y el aceite de ajo sobre la fermentación microbiana del rumen en un cultivo continuo de doble flujo. *J Dairy Sci.* ; 88 : 2508–2516.

Busquet, M. Calsamiglia, S. Hurón, A. Carro, M. Kamel, C. (2005). Efecto del aceite de ajo y cuatro de sus compuestos sobre la fermentación microbiana del rumen. *J Dairy Sci.*; 88 : 4393–4404.

Busquet, M. Calsamiglia, S. Kamel, C. Ferret, A. (2006). Los extractos de plantas afectan la fermentación microbiana del rumen in vitro. *Journal of Dairy Science* 89 (2): 761-71.

Calsamiglia, S. Busquet, M. Cardozo, P. Castillejos, L. Huron, A. (2007). Aceites esenciales como modificadores de la fermentación microbiana del rumen. *Diario de la ciencia lechera Volumen 90, Número 6.*

Cardozo, P.W. Calsamiglia, S. Hurón, A. Kamel, C.(2004). Efectos de extractos de plantas en la degradación de proteínas ruminales y perfiles de fermentación en cultivos continuos. *J anim sci.* ; 82 : 3230–3236.

Cardozo, P.W. Calsamiglia, S. Hurón, A. Kamel, C. (2005). Análisis de los efectos de extractos de plantas naturales a diferentes pH en la fermentación microbiana de rumen in vitro de una dieta de alto contenido de concentrado para ganado de carne. *J anim sci.* ; 83 : 2572–2579.

Cardozo, P.W. Calsamiglia, S. Ferret, A. Y Kamel, C. (2006). Efectos del extracto de alfalfa, el anís, el pimiento y una mezcla de cinamaldehído y eugenol sobre la fermentación ruminal y la degradación de proteínas en novillas de carne de vacuno alimentadas con una dieta altamente concentrada. *J. anim. Sci.*, 84: 2801-2808.

Carulla, J. Vargas, J. Pabón, M. (2005). Producción de metano in vitro en mezcla de gramíneas-leguminosas del trópico alto colombiano.

Castillejos, L. Calsamiglia, S. Ferret, A. (2006). Efecto de los compuestos activos de aceites esenciales sobre la fermentación microbiana del rumen y el flujo de nutrientes en sistemas in vitro. *Journal of Dairy Science* 89 (7): 2649-58

Cieslak, A. Zmora, P. Pers-Kamczyc, E. Stochmal, A. Sadowinska, A. Salem, A.Z.M. Kowalczyk, D. Zbonik, P. y Szumacher-Strabel, M. (2014). Effects of two sources of tannins (*Quercus L.* and *Vaccinium vitis idaea L.*) on rumen microbial fermentation. *Ital J Anim Sci*, 13: 290-294.

Cipriano-Salazar, M. Manuel, A. Elghandour, M. Olivares, J. Rojas, S. (2018). Rendimiento productivo, fermentación del rumen y rendimiento en canal de cabras suplementadas con fruto de cascote (*Caesalpinia coriaria J. Wild.*). *Sistema Agroforestal*.

Cobellins, G. Tralalza-Marinucci, M. Y Yu, Z. (2015). Evaluación crítica de los aceites esenciales como modificadores del rumen en la nutrición de rumiantes: una revisión. *Ciencia del Medio Ambiente Total Volúmenes* 545–546.

Cobellins, G. Yu, Z. Acuti, G. Forte, C. (2016). La suplementación dietética de las hojas de *Rosmarinus officinalis L.* en ovejas afecta la abundancia de metanógenos del rumen y otras poblaciones microbianas. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 7 (1).

Cox, S. Mann, J. Markham, J. Gustafson, J. (2001). Determinación de las acciones antimicrobianas del aceite de árbol de té. *Moléculas* 6 (2).

Davidson, P.M. y Naidu, A.S. (2000). Los fitofenoles. En AS Naidu (Ed.), *Comida natural. Sistemas antimicrobianos* (pp. 265-295).

Dorman, H.J. y Deans, S.G. (2000). Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. *Journal of Applied Microbiology* 2000, 88, 308–316.

Evans, J.D. Martin, S.A. (2000). Efectos del timol sobre microorganismos ruminales. *Curr Microbiol. Nov*; 41 (5): 336-40.

Faleiro, M. Ladeiro, F. Venancio, F. (2002). Actividad antimicrobiana de aceites esenciales aislados de especies endémicas portuguesas de timo. *Cartas en Microbiología Aplicada* 36 (1): 35-40.

FAO (2009). Capítulos especiales del estado mundial de la agricultura y la alimentación. <http://www.fao.org/docrep/012/i0680s/i0680s09.pdf>.

Ferreira, M. y Grattapaglia, D. (1998). Introducción al uso de marcadores moleculares en el análisis genético. EMBRAPA, Brasília, Brasil.

Francisco, O. (2015). Taninos hidrolizables : bioquímica, aspectos nutricionales y analíticos y efectos sobre la salud. *Nutr. Hosp.* [en línea]. 2015, vol.31, n.1, pp.55-66.

García, M. (2009). Digestibilidad por el método del indicador en rumiantes. Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias Universidad de Chile.

Goel, G. Harinder, P. Makkar, K. (2008). Effects of *Sesbania sesban* and *Carduus pycnocephalus* leaves and Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) seeds and their extracts on partitioning of nutrients from roughage- and concentrate-based feeds to methane. *Animal Feed Science and Tech.*

Grainger, C. Clarcke, T. McGinn, S. Auldist, M. Hannan, M. (2007). Methane emissions from dairy cows measured using the sulfur hexafluoride (SF6) tracer and chamber techniques.

Gunal, M. Ishlak, A. Abughazaleh, A. Khattab, W. (2014). Los aceites esenciales afectan la fermentación del rumen y la biohidrogenación en condiciones in vitro. *Checo J. anim. Sci.*, 59, (10): 450–459.

Guo, X. Jie, X. Hu, H. Liu, S. Liu, F. (2008). Analysis on applied effects of different forage combinations Used in rabbit production. *Prataculture & Animal Husbandry*, 11: 12-15.

Guo, Y. Liu, J. Lu, Y. Zhu, W. Denman, S. y McSweeney, C. (2008). Effect of teasaponin on methanogenesis, microbial community structure and expression of *mcrA* gene, in cultures of rumen micro-organisms. *Lett Appl Microbiol*, 47: 421-426.

Guyader (2016). Forage utilization to improve environmental sustainability of ruminant production. *Journal of Animal Science* 94(8).

Emisión de metano entérico en rumiantes en pastoreo. Available from: https://www.researchgate.net/publication/266317178_emision_de_metano_enterico_en_rumiantes_en_pastoreo [accessed Nov 14 2018].

Hart, K. Newbold, C. (2008). Plant extracts to manipulate rumen fermentation. *Animal Feed Science and Technology*, 147:8–35.

Hernández, R. (2005). Extracción y cuantificación indirecta de las saponinas de agave lechuguilla torrey. *Redalyc*.

Hernández, G. (2014). Efecto de la concentración de saponinas en la actividad hemolítica de extractos de ocho plantas de uso medicinal en Guatemala.

Hess, D. Abreu, A. Carruja, J. Kreuzer, M. Lascano, C. (2003). Efecto del fruto, del pericarpio y del extracto semipurificado de saponinas de *Sapindus saponaria* sobre la fermentación ruminal y la metanogénesis in vitro en un sistema RUSITEC. : *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. Vol. 16, Nº. 2, 2003, págs. 147-154.

Hristov, A.N. Ropp, J.K. Zaman, S. Melgar, A.(2008). Efectos de los aceites esenciales sobre la fermentación ruminal in vitro y la liberación de amoníaco. *Anim Feed Sci Technol.* 144: 55–64.

Holtshausen (2009). Feeding saponin-containing *Yucca schidigera* and *Quillaja saponaria* to decrease enteric methane production in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 92(6):2809-21.

Hoste, H. Jackson, F. Athanasiadou, S. Thamsborg, S Hoskin, S. (2006). Los efectos de las plantas ricas en taninos sobre los nematodos parásitos en los rumiantes. *Trends in Parasitology*, 22 (6): 253-261

Hostettmann y Marston (1995). Saponins. *Chemistry pharmacology of natural products.*

Hristov, A. (2015). An inhibitor persistently decreased enteric methane emission from dairy cows with no negative effect on milk production.

Hu, W. Liu, J. Jun-An Ye, Yue-Min Wu. (2005). Effect of tea saponin on rumen fermentation in vitro. *Animal Feed Sci. Tech.* 120:333.

Huang, X. Liang, J. Tan, H. Yahya, R. Khamseekhiew, B. y Ho, Y. (2017). Molecularweight and protein binding affinity of *Leucaena* condensed tannins and their effects on in vitro fermentation parameters. *Anim Feed SciTechnol*, 166-167: 373-376.

Ibrahim, I. (2014). Investigations into the addition of herbal methionine (phytonin) as substitute of synthetic methionine in poultry feed. *International Journal of Poultry Science.* 13(8): 484-488.

Iji, P. Kuhumalo, K. Zapatillas, S. M-Gous, R. (2004). Función intestinal y crecimiento corporal de pollos de engorde en dietas a base de maíz suplementadas con taninos de mimosa y una enzima microbiana.

Immig, I. (1996). Intentos de inducir la acetogénesis reductiva en un rumen de oveja. 49 (4): 363-70.

IPCC, (2007). https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf.

Isaza, M. (2007). Taninos o polifenoles vegetales. Scientia et Technica Año XIII, No 33.

Jayanegara, A. Makkar, H. Becker, K. (2015). Addition of Purified Tannin Sources and Polyethylene Glycol Treatment on Methane Emission and Rumen Fermentation in Vitro.

Jin, D. Cagliero, C. Martin, C., Iazard J, Zhou, Y. (2015). La naturaleza dinámica y el territorio de la maquinaria transcripcional en el cromosoma bacteriano. Microbiol de frente.

Jin. L. Wang, Y. Iwaasa, A. Xu, Z. Schellenberg, M. Zhang, Y. G Mc.Allister, T. (2013). Short Communication: Effect of condensed tannin on in vitro ruminal fermentation of purple prairie clover (*Dalea purpurea* Vent)–cool-season grass mixture. Canadian Journal of Animal Science. 93(1): 155-158.

Joch, M. Cermak, L. Hakl, J. Hucko, B. Duskova, D. Marounek, M. (2016). Selección in vitro de compuestos activos de aceites esenciales para la manipulación de la fermentación del rumen y la mitigación del metano. Asian-Australas J Anim Sci. Jul; 29 (7): 952-9.

Johnson, K.A. Johnson, D.E. (1995). Emisiones de metano de ganado. Journal of animal Ciencia, vol.73 No.8 pp. 2483-2492.

Kalem (2018). Alfalfa (medicago sativa L.) Cultivada en campeche, México y su integración local en la alimentación de corderos en confinamiento.

Khanbabaee, K van Ree, T. (2001). Tanins classification and definition. Nat Prod Rep. 2001 Dec; 18 (6): 641-9.

Klita, P. Mathison, G. Fenton, T. (1996). Effects of alfalfa root saponins on digestive function in sheep. *Journal of Animal Science*, Volume 74, Issue 5.

Kung, Jr. L., P. Williams, RJ Schmidt y W. Hu, (2008). Una mezcla de aceites vegetales esenciales que se usa como aditivo para alterar la fermentación del ensilaje o como aditivo para piensos para vacas lecheras en lactancia. *J. Dairy Sci.*, 91: 4793-4800.

Lasa, J. (2010). Utilización de taninos en la dieta de los rumiantes. Sitio Argentino de Producción Animal.

Le Bourvellec, C., Renard, CM. (2012). Interacciones entre polifenoles y macromoléculas: métodos y mecanismos de cuantificación. *Crit Rev Food Sci Nutr.* ; 52 (3).

Li, Y. Tanner, G. y Larkin, P. (1996). The DMACA-HCl protocol and the threshold proanthocyanidin content for bloat safety in forage legumes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 70, 89-101.

Lin J., Zhao X., Zhi Q., Zhao M., He Z. (2013). Perfil transcriptómico de *Aspergillus flavus* en respuesta a 5-azacitidina. *Genet Fúngico. Biol.* 56, 78–86. 10.1016 / j.fgb.2013.04.007.

Lu, C., Jorgensen, N. (1987). Las saponinas de alfalfa afectan el sitio y la extensión de la digestión de nutrientes en rumiantes.). *Journal Nutr.*; 117 (5): 919-27.

Lee, D.H. Behera S.K. Kim J.W. y Park, H.S. (2009). Methane production potential of leachate generated from Korean food waste recycling facilities: A lab-scale study. *Waste Manage.* 29, 876-882.

Lugo, C. (2005). Extracción y cuantificación indirecta de las saponinas de agave lechuguilla torrey.

Macheboeuf, D. Morgavi, Papon, Mousset, J.L. y Arturo-Schaan, M. (2008). Efectos de la dosis-respuesta de los aceites esenciales sobre la actividad de fermentación *in vitro* de la población microbiana del rumen. *Anim Alimentar sci. Technol.*, 145: 335-350.

Macedo, T. Bevilaqua, M. (2010). Anthelmintic effect of *Eucalyptus staigeriana* essential oil against goat gastrointestinal nematodes. *Vet. Parasitol.* 173: 93-98. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20609526> (03 de Julio 2017).

McGrath, Manrique, E. Angulo, J. (2017). Aceites vegetales sobre ácidos grasos y producción de metano *in vitro* en vacas lecheras. *Agron. Mesoam.* 28(1):1-18. 2017.

Márquez, L. Suárez, L. (2008). El uso de taninos condensados como alternativa nutricional y sanitaria en rumiantes. *Revista de Medicina Veterinaria* Nro. 16.

Martínez, M. Ortega, C. Herrera, H. Robles, S. (2015). Uso de aceites esenciales en animales de granja. <http://www.redalyc.org/pdf/339/33942541003.pdf> (03 de Julio 2017).

Malik, P. Kolte, A. Bakshi, B. Baruah, L. (2017). Efecto de la suplementación con cáscara de semilla de tamarindo sobre la metanogénesis ruminal, la diversidad de metanógeno y las características de fermentación. *Carbón Management* 8 (4): 1-11 .

Mattioli, G. (2003). Fisiología digestiva y metabólica de los rumiantes. Cátedra de Fisiología Facultad de Ciencias Veterinaria U.N.L.P.

Mena, V. (2015). Determinación de saponinas y otros metabolitos secundarios en extractos acuosos de *Sapindus saponaria* L. (jaboncillo). *Rev Cubana Plant Med.*

Min, B.R. and Hart, S.P. (2003). Tannins for Suppression of Internal Parasites. *Journal of Animal Science*, 81, E102-E109.

Min. B.R. William, E. Pinchak, R.C. Callaway, T.R. (2007). Efecto de los taninos sobre el crecimiento in vitro de *Escherichia coli* O157: H7 y crecimiento in vivo de *Escherichia coli* genérico Excretado de Steer. *Revista de protección de alimentos*: marzo de 2007, vol. 70, No. 3, pp. 543-550.

Mirzaei-Aghsaghali A. (2012). Factors affecting mitigation of methane emission from ruminants: Microbiology and biotechnology strategies. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*.

Lin, W.C. Wang, A.Y. Zhou, M.Y. (2012) Antioxidative and anti-inflammatory properties of *Citrus sulcata* extracts. *Food Chem.* 124:958-963.

Patra, A.K. y Saxena, J. (2010). Review A new perspective on the use of plant secondary metabolites to inhibit methanogenesis in the rumen. *Phytochemistry*, 71: 1198–1222.

Patra A.K. Yu Z. (2012). Efectos de los aceites esenciales en la producción de metano, la fermentación, la abundancia y la diversidad de las poblaciones microbianas del rumen. *Apl. Reinar. Microbiol.* 78, 4271–4280.

Patra, A.K. Yu, Z. (2013). Effects of coconut and fish oils on ruminal methanogenesis, fermentation, and abundance and diversity of microbial populations in vitro. *J Dairy Sci.* Mar; 96.

Pawar, M.M. Kamra, D.N. Agarwal, N. Chaudhary, L.C. (2014). Efectos del aceite esencial sobre la metanogénesis *in vitro* y la fermentación del alimento con licor de rumen de búfalo. *Agric Res.* 3, 67–74.

Pen, B. Takaura, K. Yamaguchi, S. Asa, R. Takahashi, J. (2007). Effects of *Yucca schidigera* and *Quillaja saponaria* with or without b-1, 4 galactooligosaccharides on ruminal fermentation, methane production and nitrogen utilization in sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2007. 138: 75–88.

Pen, B. (2007). Studies on manipulation of ruminal fermentation and methanogenesis by natural products. Ph.D. Thesis. The United Graduate School of Agricultural Sciences, Iwate University Japan.

Pérez, T. López, G. (2011). Los rumiantes y el calentamiento global: Alternativas para disminuir las emisiones de metano. Primera reunión de la investigación agropecuaria. universidad autónoma del estado de morelos, at cuernavaca, morelos, volumen: 1

Polin, R. (2014). Aceites esenciales modificadores de perfiles de fermentación ruminal y mitigación de metano en rumiantes. Rev Mex Cienc Pecu.

Priolo, A. Waghorn, G.C. Lanza, M. Biondi, L. y Pennisi, P. (2000). Polyethylene glycol as a means for reducing the impact of condensed tannin in carab pulp: Effects on lamb growth performance and meat quality. J. Anim. Sci. 78:810.

Ramirez-Restrepo, C.A. Christopher, J. Lopez, N. Padmanabha, J, Wang, J. McSweeney, C. (2016). Producción de metano, características de fermentación y perfiles microbianos en el rumen del ganado tropical alimentado con suplementos de saponina de semilla de té. Animal Feed Science and Technology 216 (2016) 58–67.

Relling, A. (2003). Fisiología digestiva y metabólica de los rumiantes. Cátedra de Fisiología Facultad de Ciencias Veterinarias. U.N.L.P. F.

Rira, M. Chentli, A. Boufenere, S. Bousseboua, H. (2015). Effects of plants containing secondary metabolites on ruminal methanogenesis of sheep in vitro. Energy Procedia 74 (2015) 15 – 24.

Santos, M.B. Robinson, P.H. Williams, P.y Losa, R. (2010).Efectos de la adición de un complejo de aceites esenciales a la dieta de vacas lecheras lactantes en la digestión de nutrientes y el rendimiento productivo de todo el tracto. Anim Alimentar sci. Technol., 157: 64-71.

Santos, B. Mwenya, B. Sar, C. Gamo Y. Kobayashi, T. Morikawa, R. Kimura, K. Mizukoshi, H. (2014). Effects of supplementing galacto-oligosaccharides, *Yucca schidigera* or nisin on rumen methanogenesis, nitrogen and energy metabolism in sheep. *Livest. Prod. Sci.* 9:209

Slate, K. Fahy, F. Griffiths, H. (2016). Crassulacean acid metabolism (CAM) offers sustainable bioenergy production and resilience to climate change. *GCB Bioenergy* (2016)8, 737–749.

Solano, V. (1997). Efecto de diferentes concentraciones de taninos sobre la flora microbiana ruminal y en la degradabilidad *in vitro* del forraje de alfalfa. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Agronomía.

Szczechowiak, J. Szumacher-Strabel, M. El-Sherbiny, M. Pers-Kamczyc, E. (2016). Fermentación del rumen, concentración de metano y proporción de ácidos grasos en el rumen de vacas lecheras alimentadas con taninos condensados y una mezcla de aceites de pescado y soja. *Animal Feed Science and Technology* 216. 93–107.

Takahashi, J. 2002. Nutritional manipulation of methane emission from ruminants. Greenhouse gases and animal agriculture. Proceedings of the 1st International Conference on Greenhouse Gases and Animal Agriculture. Obihiro. Japan. Elsevier. Holanda. p. 95-103.

Tager, L. y Krause, M. (2011). Efectos de los aceites esenciales sobre la fermentación del rumen, la producción de leche y el comportamiento de alimentación en vacas lecheras lactantes. *Journal of Dairy Science* 94 (5): 2455-64.

Tomkins, W. Denman, S. Pilajun, R., Wanapat, M. Chris, S. y Elliott, R. (2015). Manipulación de la fermentación ruminal y la metanogénesis utilizando

un aceite esencial y monensina en el ganado alimentado con heno de pasto tropical. *Ciencia y tecnología de la alimentación animal*, 200. pp. 25-34.

Troisi, J. (2014). Estado del arte de la quinua en el mundo. https://www.researchgate.net/publication/266969103_Saponinas.

Troisi, J. (2013). Saponinas. Universidad de La Serena, Facultad de Ingeniería.

Vargas, J. Cárdenas, M. Pabón y Carulla, J. (2012). Emisión de metano entérico en rumiantes en pastoreo. *Archivos de zootecnia* vol. 61 (R), p. 53.

Vélez T. M., Campos G. R. y Sánchez G. H. (2014). Uso de metabolitos secundarios de las plantas para reducir la metalogénesis. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*.

Vincken, J. Heng. L, de Groot. A, Gruppen, H. (2007). Saponinas, clasificación y ocurrencia en el reino vegetal. *Fitoquímica*. Febrero de 2007; 68 (3) : 275-97.

Wang, C. Wang, S. (2007). Influences of flavomycin, ropadiar, and saponin on nutrient digestibility, rumen fermentation, and methane emission from sheep. *Anim Feed Sci Tech*, 148: 157-166.

Wina, E., Muetzel S. Becker K. (2005). The Impact of Saponins or Saponin-Containing Plant Materials on Ruminant Productions A Review. University of Hohenheim - Germany, Indonesian Research Institute for Animal Production – Indonesia.

Salem, A. González, J. López, S. (2009). Impactos y adaptaciones a los taninos en los rumiantes. 1er Simposio Internacional sobre Producción Animal (2009) 96-122.

Salem, A. (2012). Oral administration of leaf extracts to rumen liquid donor lambs modifies in vitro gas production of other tree leaves. *Animal Feed Science and Technology* 176, 94–101.

Salem, A. González, S. López, S. Ranilla, M. Rojo, R. Camacho. L. Avilés, F. (2014). Impactos y adaptaciones a los taninos en los rumiantes. 1er Simposio Internacional sobre Producción Animal, 96-122.

Sliwinski, B. Kreuzer, H. Machmüller. A. (2009). Rumen fermentation and nitrogen balance of lambs fed diets containing plant extracts rich in tannins and saponins, and associated emissions of nitrogen and methane. Arch. Anim. Nutr. 56:379-392.

Szumacher-Strabel y Cieślak, (2012). Dietary Possibilities to Mitigate Rumen Methane and Ammonia Production. Poznań University of Life Sciences. Department of Animal Nutrition and Feed Management.

Ultee, A. Bennik, M y Moezelaar, R. (2002). El grupo fenólico hidroxilo de Carvacrol es esencial para la acción contra el patógeno transmitido por los alimentos *Bacillus cereus*. Appl Environ Microbiol. ; 68 (4): 1561-1568.

Varadyova, Z. Kisidayova, S. Jalc, D. y Szumacher-Strabel M. (2013). Effect of diets with fruit oils supplements on rumen fermentation parameters, fatty acid composition and methane production in vitro. J. Anim. Feed Sci. 22:26-34.

Vasta, V. Priolo, A. Scerra, M. Hallett, K.G. Wood, J.D. y Doran, O. (2009). Desaturase protein expression and fatty acid composition of longissimus dorsi muscle in lambs fed green herbage or concentrate with or without added tannins. Meat Sci, 82: 357-364.

Wallace R J (2004). Antimicrobial properties of plant secondary metabolites. Proceedings of the Nutrition Society, 63: 621–629.

Waghorn, G. (2008). Beneficial and detrimental effects of dietary condensed tannins for sustainable sheep and goat production - Progress and Challenges. Anim. Feed Sci. Technol. (147):116-139.

Wang, Y. Douglas, G. Waghorn, G. Barry, T. Foote, A. Purchas, R. (1996). Effect of condensed tannins upon the performance of lambs grazing Lotus corniculatus and Lucerne (Medicago stiva). Journal of Agricultural Science, Cambridge, 126:87-98.

Wang, Y. Waghorn, G. McNabb, W. Barry, T. Hedley, M. Shelton, I. (1994). Effects of condensed tannins in Lotus corniculatus upon the digestion of methionine and cysteine in the small intestine of sheep. Journal of Agricultural Science, Cambridge, 127:413-421.

Wang, Y., Towprayoon, S. Chiemchaisri, Ch. Gheewala, Sh. Nopharatana, A. (2006). Seasonal variation of landfill methane emissions from seven solid waste disposal sites in central Thailand, 2nd Joint International Conference on Sustainable Energy and Environment (SEE2006) Bangkok, Thailand.

Zhou, H. Li, H. Wang, F. (2012). Anaerobic digestion of different organic wastes for biogas production and its operational control performed by the modified ADM1. Journal of environmental science and health. Part A, Toxic/hazardous substances & environmental engineering. 47, 1, 84-92.

Zotte, A. y Cossu, M. (2009). Inclusión dietética de extracto de tanino de quebracho rojo (Schinopsis spp.) En la producción de carne de conejo. Revista italiana de ciencia animal . vol. 8 (S uppl. 2), 784-786.