



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN**  
**Y SALUD ANIMAL**

**FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA**

**“ADICIÓN DE ACEITE DE CANOLA Y GIRASOL, EN BOVINOS DE DOBLE**  
**PROPÓSITO EN PASTOREO: DIGESTIBILIDAD, CALIDAD DE LECHE Y**  
**PRODUCCIÓN DE METANO”**

**TESIS DE MAESTRÍA**

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:**

**MAESTRA EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y SALUD ANIMAL**

**PRESENTA:**

**MARIANA ERÉNDIRA MEDINA CAMPOS.**

**TUTOR PRINCIPAL**

**DRA. CLAUDIA CECILIA MÁRQUEZ MOTA.**

**UNAM, FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA.**

**MIEMBROS DEL COMITÉ TUTORAL**

**DR. LUIS CORONA GOCHI.**

**UNAM, FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA.**

**DRA. BERENICE PALACIOS GONZÁLEZ.**

**INMIGEN, INSTITUTO NACIONAL DE MEDICINA GENÓMICA.**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX. DICIEMBRE, 2023**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Agradecimientos

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), por permitirme formar parte de su distinguida comunidad académica. Es un honor y un privilegio contribuir al legado de excelencia académica que caracteriza a esta institución. La UNAM ha sido un pilar fundamental en mi desarrollo académico y personal, y estoy agradecida por la invaluable experiencia que he adquirido aquí.

Quisiera expresar mi sincero agradecimiento al comité académico por brindarme la valiosa oportunidad de culminar dicho proyecto. Esta experiencia ha sido fundamental en mi desarrollo académico y profesional, permitiéndome aplicar y ampliar mis conocimientos.

A la Dra. Claudia Márquez quiero agradecerle por su confianza y paciencia en todo el proceso de este trabajo. Su apoyo ha sido fundamental y me ha inspirado a dar lo mejor de mí. Aprecio enormemente la confianza que ha depositado en mi trabajo y su disposición para guiarme a lo largo de los desafíos. La paciencia que ha demostrado ha hecho que este proceso sea más enriquecedor, y estoy agradecida por la oportunidad de aprender y crecer bajo su dirección. Su influencia positiva ha dejado una marca significativa en mi experiencia académica, y estoy agradecida por tenerla como mentora.

A mi comité tutorial por las valiosas enseñanzas que cada uno de ustedes me ha brindado a lo largo de este proyecto. Sus conocimientos, orientación y apoyo han sido fundamentales para mi desarrollo académico y profesional.

A los doctores que conforman mi jurado por dedicar tiempo y esfuerzo en la revisión de mi trabajo. Su compromiso y experiencia han sido fundamentales para la evaluación de mi proyecto, y estoy agradecida por las valiosas aportaciones que cada uno de ustedes ha realizado. Las sugerencias y comentarios proporcionados han enriquecido significativamente mi trabajo. Su contribución ha sido invaluable. ¡Gracias por ser parte fundamental de este proceso y por compartir su conocimiento conmigo!"

A mis compañeros del DNAB su colaboración y aliento han sido fundamentales en cada etapa de este proyecto. Estoy agradecida por cada gesto de apoyo, por las ideas compartidas y por el sentido de comunidad que hemos construido juntos. Este logro no habría sido posible sin su contribución.

## Dedicatorias

Primero que nada, dedico este logro a Dios. Agradezco su guía, fortaleza y bendiciones a lo largo de este camino. Sin su amor y gracia, este logro no habría sido posible.

A mis queridos padres, Ignacio y Lilia. Su amor, apoyo incondicional y guía han sido la luz que ha iluminado mi camino hacia este éxito. Cada sacrificio, cada palabra de aliento y cada gesto de amor que han compartido conmigo ha sido fundamental en este viaje. Este logro no solo es mío, sino también de ustedes, quienes han sido mis mayores motores para seguir. Agradezco profundamente todo lo que han hecho por mí. Este triunfo es suyo tanto como mío, y les dedico este logro con todo mi corazón. ¡Gracias por ser mis padres excepcionales y por estar siempre a mi lado!

A mis queridos hermanos, Ruth, Juan y Erick, este logro lo comparto con ustedes, quienes han sido una fuente constante de apoyo, alegría y compañía a lo largo de mi vida. Sus risas, palabras de aliento y vínculo inquebrantable han sido un faro en mi camino, este logro lleva consigo la esencia de nuestra unión familiar. Dedico este logro a nuestra conexión indestructible y a las muchas más aventuras que compartiremos juntos. ¡Los quiero con todo mi corazón!"

Juan, este éxito lo dedico a ti, como tributo a la inspiración que siempre fuiste para mí. Tu ausencia física no disminuye tu influencia positiva en mi vida, y este logro lleva consigo el eco de los recuerdos felices que compartimos. Siempre estarás en mi corazón y serás parte integral de mis logros. ¡Te extraño y te honro en este día tan significativo!

Jesús, tu amor, apoyo y aliento han sido mi fuente constante de inspiración.recio profundamente tu contribución a mis alegrías y tus palabras de ánimo en los momentos desafiantes, estoy agradecida de tenerte a mi lado. ¡Te dedico con amor este logro, con la esperanza de muchos más que celebraremos juntos!"

Mago, tu amistad ha sido una luz constante en mi vida, iluminando mis días con risas, apoyo incondicional y momentos inolvidables.recio tu presencia en cada capítulo de mi vida, incluyendo los desafíos y triunfos que hemos compartido juntas. Gracias por estar siempre allí, por tu ánimo y por ser la increíble persona que eres.

A mis adorables sobrinos, Jhoana, Juanito y Camila, este logro que celebro hoy lleva consigo el afecto y la alegría que ustedes, han aportado a mi vida. Cada uno de ustedes ha sido una fuente constante de inspiración, risas y amor incondicional. Dedico este logro a ustedes, con la esperanza de que encuentren en él un recordatorio de que los sueños pueden lograrse con esfuerzo y determinación. A medida que crecen, ustedes me inspiran con su curiosidad, alegría y energía inagotable. Gracias por ser la chispa que ilumina mi vida y por ser parte integral de este momento especial. Este logro es un regalo para cada uno de ustedes, y espero que les motive a perseguir sus propios sueños con la misma pasión y dedicación. ¡Los amo y agradezco tenerlos en mi vida!

José Luis aprecio tu constante apoyo y la amistad que hemos construido y el respaldo incondicional que siempre me brindas. Este logro refleja el valor de las conexiones familiares y la colaboración. Gracias por ser un cuñado excepcional y por compartir este momento especial conmigo. ¡Este logro es para ti, con aprecio y gratitud!"

José Antonio Solano, tu amistad ha sido una fuente constante de inspiración y apoyo. Este proyecto lleva consigo la huella de nuestra amistad, y quiero expresar mi gratitud por cada conversación, cada consejo y cada momento compartido. Gracias por contribuir al crecimiento y éxito en mi vida. Este logro es tuyo también, ya que tu amistad ha sido una parte fundamental de mi viaje.

A mis queridos amigos gracias por ser mi fuente de risas, consuelo y aventuras inolvidables. Dedico este logro a nuestra amistad, a los momentos compartidos y a la fuerza que obtenemos el uno del otro. En cada desafío y triunfo, su apoyo ha sido invaluable, y este logro es un testimonio de la importancia de tener amigos tan increíbles como ustedes. Que este éxito refleje la gratitud que siento por cada uno de ustedes y el amor que compartimos a lo largo de los años. ¡Este logro es nuestro, y estoy agradecido/a de tener amigos tan maravillosos para compartir la vida! Gracias por ser parte de este viaje conmigo.

Para concluir, quiero dedicar estas palabras a ti, Coqueta. Fuiste mi fiel compañera de desvelos, testigo de cada palabra escrita y de cada esfuerzo invertido en este proyecto. Aunque hiciste falta físicamente, sé que tu presencia sigue viva en cada página. Tu ausencia se siente, pero también sé que estás presente en el espíritu de cada logro. Gracias por ser mi inspiración silenciosa, mi cómplice de desvelos y por el amor incondicional que compartimos.

Te extraño, pero celebro tu memoria en cada éxito. Gracias por ser mi eterna compañera. Hasta siempre, mi dulce Coqueta.

## Contenido

Índice de Cuadros .....	1
Resumen .....	2
Abstract.....	3
Introducción.....	4
Situación de la ganadería en México.....	4
La ganadería tropical en las regiones del país .....	4
Fermentación Ruminal .....	5
Importancia de los microorganismos en la fermentación ruminal .....	8
Metabolismo de los rumiantes.....	8
Producción de ácidos grasos volátiles (AGV) en el rumen .....	9
Producción de metano en rumiantes .....	9
Problemática del metano entérico .....	11
Estrategias para disminuir metano .....	12
Uso de lípidos en la alimentación de rumiantes .....	13
Justificación .....	19
Hipótesis .....	19
Objetivos.....	20
Objetivo general .....	20
Objetivos específicos.....	20
Metodología.....	20
Animales y diseño de experimentos.....	20
Calidad de la leche .....	21
Estimación de metano .....	22
Estimación de consumo de materia seca .....	22
Análisis de heces y dieta .....	22
Humedad.....	22
Nitrógeno total.....	23
Cenizas totales .....	24
Cenizas insolubles en ácido clorhídrico .....	24
Fibra detergente neutra .....	24
Fibra detergente acida.....	25
Análisis de líquido ruminal .....	26

Análisis estadístico.....	26
Resultados y discusión .....	27
Perfil de ácidos grasos en los aceites.....	27
Caracterización de forraje y concentrado .....	28
Consumo de materia seca y digestibilidad total .....	29
Fermentación ruminal.....	31
Protozoarios en rumen.....	32
Producción y calidad de leche .....	33
Producción de metano .....	34
Perfil de ácidos grasos de la leche de vacas de doble propósito .....	35
Conclusiones.....	38
Limitaciones y perspectivas.....	38
Bibliografía.....	39

## Índice de Cuadros

Cuadro 1. Principales grupos bacterianos presentes en el rumen.....	6
Cuadro 2. Protozoarios presentes en rumen .....	7
Cuadro 3. Estrategias para la disminución de CH <sub>4</sub> .....	12
Cuadro 4. Estudios referentes al uso de lípidos en la alimentación de rumiantes.....	15
Cuadro 5. Perfil de ácidos grasos del aceite de girasol y aceite de canola.....	27
Cuadro 6. Perfil de ácidos grasos en concentrado y forraje .....	28
Cuadro 7. Análisis químico proximal del forraje y concentrado.....	28
Cuadro 8. Efecto de la adición de aceite de canola y aceite de girasol a la dieta de vacas de doble propósito sobre el consumo de materia seca y la digestibilidad total.....	30
Cuadro 9. Efecto de la adición de aceite de canola y aceite de girasol a la dieta de vacas de doble propósito sobre el contenido de ácidos grasos volátiles, pH y NH <sub>3</sub> en líquido ruminal .....	31
Cuadro 10. Conteo de protozoarios en líquido ruminal .....	32
Cuadro 11. Efecto de la adición de aceite de canola y aceite de girasol a la dieta de vacas de doble propósito sobre la producción de leche y sus características fisicoquímicas .....	33
Cuadro 12. Efecto de la inclusión de aceite de canola y aceite de girasol sobre la producción de metano.....	34
Cuadro 13. Perfil de ácidos grasos en la leche de vacas alimentadas con aceite de canola y aceite de girasol .....	35

## Resumen

El metano ( $\text{CH}_4$ ) es un gas de efecto invernadero que se produce como subproducto del proceso de digestión en los animales rumiantes, como los bovinos. La fermentación digestiva en el rumen, donde ocurre la descomposición de los alimentos, es un proceso que implica la acción de microorganismos. La adición de lípidos, específicamente ácidos grasos poliinsaturados, a la dieta de los bovinos ha mostrado tener efectos sobre la actividad microbiana en el rumen. Esto puede modificar la composición de los microorganismos presentes y, como resultado, reducir la producción de metano durante la digestión. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la inclusión de aceite de canola (Ca) y aceite de girasol (G) en la alimentación de bovinos F1 en clima tropical en producción, sobre la calidad y producción de leche y emisiones de  $\text{CH}_4$ . El estudio se llevó a cabo en el estado de Veracruz, México. Se emplearon 18 vacas F1 en lactancia, en periodos de 18d; el diseño del experimento fue permutable para 3 tratamientos, los cuales fueron: Control (C), Ca y G, la cantidad de aceite agregada fue de 2% de inclusión y un kg de concentrado comercial por animal. Los animales se mantuvieron en pastoreo en potreros de *Brachiaria sp.* La estimación de consumo de materia seca se hizo con el programa CPM-Dairy V3. Se tomaron muestras de leche durante la ordeña en los días 10 y 12 de cada periodo, muestras de heces (200g/BH) de cada vaca tres veces al día durante los últimos 4 días (7:00, 12:00 y 16:00 h). Se tomaron muestras de líquido ruminal para la identificación de microorganismos, cuantificación de protozoarios, determinación de nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_3$ ) y determinación de ácidos grasos volátiles (AGV's) en el día 18 de cada periodo. La medición de  $\text{CH}_4$  se registró durante los días 12 al 17 de cada periodo, con equipos Guardian. De acuerdo con los resultados obtenidos los tratamientos solo tuvieron un efecto sobre los ácidos grasos presentes en la grasa de la leche, principalmente en los ácidos: laúrico, mirístico y palmítico. Los demás parámetros medidos en este estudio no se vieron afectados.

## Abstract

Methane (CH<sub>4</sub>) is a greenhouse gas produced as a byproduct of the digestion process in ruminant animals, such as cattle. Digestive fermentation in the rumen, where the decomposition of food occurs, is a process that involves the action of microorganisms. The addition of lipids, specifically polyunsaturated fatty acids, to the diet of cattle has been shown to have effects on microbial activity in the rumen. This can modify the composition of the microorganisms present and, as a result, reduce methane production during digestion. The objective of the study was to evaluate the effect of the inclusion of canola oil (Ca) and sunflower oil (G) in the diet of F1 cattle in tropical climates in production, on the quality and production of milk and methane emissions. The study was carried out in the state of Veracruz, Mexico. 18 F1 cows were used in lactation, in periods of 18d; The design of the experiment was interchangeable for 3 treatments, which were: Control (C), Ca and G, the amount of oil added was 2% inclusion and one kg of commercial concentrate per animal. The animals were grazed in *Brachiaria* sp pastures. The estimation of dry matter consumption was made with the CPM-Dairy V3 program. Milk samples were taken during milking on days 10 and 12 of each period, feces samples (200g/BH) were taken from each cow three times a day during the last 4 days (7:00, 12:00 and 16:00). h). Rumen fluid samples were taken for the identification of microorganisms, quantification of protozoa, determination of ammoniacal nitrogen (NH<sub>3</sub>) and determination of volatile fatty acids (VFAs) on day 18 of each period. CH<sub>4</sub> measurement was recorded during days 12 to 17 of each period, with Guardian equipment. According to the results obtained, the treatments only had an effect on the fatty acids present in milk fat, mainly on the acids: lauric, myristic and palmitic. The other parameters measured in this study were not affected.

## Introducción

### *Situación de la ganadería en México*

México es considerado un país ganadero, el 56% de la superficie del país se dedica a la ganadería, con una superficie del 25%, la cual se destina al cultivo de diferentes forrajes, entre leguminosas y gramíneas propias de la región, para tener alimento suficiente para las 35,998,885 millones de cabezas de ganado bovino, que reporta el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2022). Sin embargo, este número de cabezas es insuficiente para cubrir la demanda nacional respecto al consumo *per cápita* de la población. En el año 2021, México consumió 9.5 millones de toneladas de carne, donde el 21% corresponde a carne de origen bovino (SIAP, 2022).

El aumento de la población mexicana y su baja capacidad de compra de proteína animal (pollo, cerdo, res), debido a la crisis económica que se vive actualmente, nos ha llevado a la implementación de nuevas políticas que nos ayuden a impulsar a la ganadería de pequeña escala para producir proteína de buena calidad y que está, sea accesible para los diferentes estratos sociales. Tomando en cuenta el uso de recursos forrajeros y pecuarios que ayuden a que los pequeños productores tengan una mejora en la rentabilidad, aumenten sus ingresos y minimizar el impacto ambiental de la ganadería (SAGARPA, 2018).

### *La ganadería tropical en las regiones del país*

El sistema de producción que predomina en el trópico es el extensivo donde la alimentación de los animales se basa principalmente en pastoreo. El aprovechamiento de los recursos forrajeros en este sistema es deficiente, debido a que normalmente se emplean forrajes que contienen baja cantidad de proteína y un alto contenido en fibra, incluso la fibra puede llegar a ser de difícil digestión, lo que ocasiona que los índices de producción para los bovinos bajo la ganadería tropical sean bajos. A pesar de ello se estima que en el trópico se produce aproximadamente el 45% de la producción de leche y más del 50% de la producción de carne de los totales nacionales (México, G. d., 2021; Córdoba et al., 1977).

En México, se estima que la región del trópico abarca aproximadamente la cuarta parte de la superficie nacional en donde, la ganadería bajo pastoreo es una de las principales actividades económicas (Enríquez Quiroz et al., 2021).

La ganadería tropical se caracteriza principalmente por mantener a los animales, a base de pastoreo que es una práctica común en dichas regiones como Veracruz y Chiapas, entre otros, en donde los animales consumen pastos que se consideran nativos de esta región como pángola (*Digitaria decumbens*), insurgente (*Brachiaria brizantha*), pará (*Brachiaria humidicola*), setaria (*Setaria macrostachya*), etc. Los animales en pastoreo generalmente consumen dietas con un alto contenido de fibra, lo cual se asocia con una mayor emisión de metano (CH<sub>4</sub>) y una pérdida energética del 12-18% que disminuye el potencial productivo de los animales (Thompson & Rowntree, 2020). Debido a lo anterior en la actualidad ha aumentado el interés en el estudio de posibles opciones para disminuir la producción de CH<sub>4</sub> relacionado con la fermentación ruminal (Santiago Ortega, 2017).

Además, es relevante considerar el impacto ambiental de la ganadería, especialmente en términos de emisiones de gases de efecto invernadero y el uso de recursos naturales. En muchos lugares del mundo, hay un creciente interés en encontrar formas más sostenibles de producir carne y productos animales.

### *Fermentación Ruminal*

El rumen es una cámara fermentativa anaerobia, lo que significa que opera en ausencia de oxígeno. La función principal del rumen es descomponer materiales vegetales complejos, como celulosa y otros hidratos de carbono, mediante la acción de una comunidad microbiana que está compuesta por: bacterias, arqueas, protozoos y hongos, que trabajan de manera sinérgica para descomponer los materiales vegetales en formas más simples. (Ungerfeld, 2020).

Los microorganismos en el rumen son capaces de descomponer la celulosa, un carbohidrato estructural presente en las paredes celulares de las plantas, en compuestos más simples, como ácidos grasos de cadena corta y gases como el metano. Esta fermentación permite a los rumiantes obtener nutrientes esenciales de los alimentos fibrosos que consumen, convirtiéndolos en compuestos que pueden ser absorbidos y utilizados por el animal. El proceso en el rumen es crucial para la nutrición de los rumiantes (Creevey et al., 2014; Puniya et al., 2015; Wallace et al., 2017).

Dentro de la microbiota ruminal, las bacterias son los microorganismos más abundantes y se estima que existen más de 200 especies. Estudios recientes han demostrado que los filos dominantes en los rumiantes son, *Firmicutes*, *Bacteroidetes* y *Proteobacteria*. Se ha reportado que factores como la dieta, requerimientos energéticos, eficiencia alimentaria, etc., modifican la población bacteriana del rumen, y que diferencias en la abundancia de estos filos pueden estar asociados con las variaciones en las emisiones de CH<sub>4</sub> (Clemmons et al., 2019).

Las bacterias ruminales se pueden clasificar de acuerdo con su capacidad de degradar los componentes de la dieta. El Cuadro 1 describe los principales grupos bacterianos presentes en el rumen.

Cuadro 1. Principales grupos bacterianos presentes en el rumen

<b>Tipo de bacteria</b>	<b>Sitio de acción</b>	<b>Principales géneros</b>	<b>Phylum</b>
<b>Celulolíticas</b>	Celulosa y azúcares solubles producidos	<i>Ruminococcus flavefasciens</i> , <i>Ruminococcus albus</i> , <i>Bacteroides succinogenes</i> <i>Butyrivibrio fibrisolvens</i> .	Firmicutes Firmicutes Bacteroidetes Firmicutes
<b>Hemicelulolíticas</b>	Hemicelulosa	<i>Butyrivibrio fibrisolvens</i> , <i>Bacteroides ruminicola</i> <i>Ruminococcus spp</i>	Firmicutes Bacteroidetes Firmicutes
<b>Pectinolíticas</b>	Pectina	<i>Butyrivibrio fibrisolvens</i> , <i>Bacteroides ruminicola</i> <i>Lachnospira multiparus</i> <i>Succinivibrio dextrinosolvens</i> , <i>Treponema spp.</i> <i>Streptococcus bovis</i> .	Firmicutes Bacteroidetes Firmicutes Firmicutes Spirochaetes Proteobacteria
<b>Amilolíticas</b>	Amilasa	<i>Bacteroides amylophilus</i> , <i>Streptococcus bovis</i> , <i>Bacteroides ruminicola</i> <i>Succinivibrio dextrinosolvens</i>	Bacteroidetes Proteobacteria Bacteroidetes Firmicutes
<b>Proteolíticas</b>	Proteína y/o NNP	<i>Bacteroides amylophilus</i> , <i>Bacteroides ruminicola</i> <i>Butyrivibrio fibrisolvens (algunas cepas)</i> <i>Streptococcus bovis</i> .	Bacteroidetes Bacteroidetes Firmicutes Proteobacteria
<b>Lipolíticas</b>	Lípidos	<i>Anaerovibrio lipolytica</i> <i>Butyrivibrio spp.</i>	Firmicutes Firmicutes
<b>Productoras de amoníaco</b>	Producen amoníaco por la desaminación de aminoácidos. El amoníaco se obtiene de la hidrólisis de la urea.	<i>Bacteroides ruminicola</i> <i>Megasphaera elsdenii</i> <i>Selenomonas ruminantium</i> <i>Pocas especies de Butyrivibrio</i>	Bacteroidetes Firmicutes Firmicutes Firmicutes
<b>Productoras de metano</b>	Regulan la fermentación total al eliminar H <sub>2</sub> gaseoso	<i>Methanobrevibacter ruminantium</i> <i>Methanobacterium formicicum</i> <i>Methanomicrobium mobile</i> . <i>Methanosarcina barkerii</i>	Euryarchaeota Euryarchaeota Euryarchaeota Euryarchaeota

Fuente: Blanco, 1999.

Los protozoarios son organismos unicelulares que forman parte de la comunidad microbiana en el rumen de los rumiantes. Aunque representan una proporción relativamente pequeña en comparación con las bacterias, su presencia es importante debido a la actividad simbiótica que mantienen con otros microorganismos, como bacterias y arqueas (Blanco, 1999).

Los protozoarios en el rumen descomponen y fermentan los hidratos de carbono y otros compuestos presentes en los alimentos consumidos por los rumiantes. Al hacerlo, contribuyen a la descomposición de la celulosa y otros materiales vegetales complejos, convirtiéndolos en productos más simples y son responsables de la digestión del 30-40% de la fibra. Esta actividad ayuda a que los animales obtengan nutrientes de alimentos que, de lo contrario, serían difíciles de aprovechar.

Además, los protozoarios también tienen una función en la regulación de la población de bacterias en el rumen, ya que consumen bacterias, manteniendo así un equilibrio en la comunidad microbiana.

El Cuadro 2 describe la división de los protozoarios presentes en el rumen.

Cuadro 2. Protozoarios presentes en rumen

<b>Holotricos</b>	<b>Entodiniomorfos</b>
Principal característica: Presencia de cilios en todo el cuerpo.	Principal característica: Forma dentada y solo tienen cilios en el polo anterior.
Ejemplos: <i>Isotrichia</i> <i>Dasytrichia</i> <i>Charonina</i>	Ejemplos: <i>Entodinium</i> <i>Diplodinium</i> <i>Eudiplodinium</i> <i>Ostracodinium</i> <i>Metadinium</i> <i>Polyplastron</i> <i>Epidium</i>

Fuente: Universidad de Chile, 1983/ (Zapata-Salas & Polanco-Echeverry, 2010).

Los hongos son organismos rodeados por zoosporas fúngicas que colonizan las superficies de las plantas para producir un micelio; se adhieren a las partículas de alimento y de esa manera incrementan su tiempo de resistencia. Los hongos actúan como colonizadores iniciales de la lignocelulosa e incrementan la velocidad para que las bacterias digieran la fibra dietaria al alterar las paredes lignificadas de las células de las plantas. Hasta el día de hoy se han encontrado 5 principales filos fúngicos, que incluyen 55 géneros de hongos; siendo los más predominantes: *Ascomycota* con el 27%, *Basidiomycota* con el 3% y *Neocallimastigomycota* con el 1% (Matthews et al., 2019).

Las arqueas son microorganismos que se creía eran bacterias; pero gracias a estudios moleculares de ADN se ha demostrado que pertenecen a un dominio diferente. Dichos microorganismos tienen un papel especial en la eficiencia alimenticia, ya que participan en la formación de metano, en donde utiliza dióxido de carbono e hidrógeno. El 99% de la población de arqueas ruminales, está conformado por el filo arqueal *Euryarchaeota*, en donde se han detectado diez géneros de arqueas, siendo *Methanobrevibacter* el género más abundante, en un 91% aproximadamente. Esto es gracias a estudios de secuenciación de ADN (Matthews et al., 2019).

Estos hallazgos demuestran la complejidad de la comunidad microbiana en el rumen y cómo cada grupo, ya sean bacterias, protozoarios, hongos o arqueas, contribuye de manera única a la digestión eficiente de los alimentos consumidos por los rumiantes.

#### *Importancia de los microorganismos en la fermentación ruminal*

La fermentación en el rumen es un proceso clave en la digestión de los rumiantes, y la presencia y actividad de microorganismos desempeñan un papel fundamental en este proceso. La comunidad microbiana en el retículo-ruminal está adaptada para descomponer y fermentar los alimentos fibrosos que consumen los rumiantes, convirtiéndolos en nutrientes más accesibles. Estas condiciones abarcan diversos aspectos, tales como el suministro de nutrientes adecuados, la creación de un ambiente anaeróbico, el mantenimiento del pH adecuado, la regulación de la presión osmótica, la temperatura óptima, el contacto efectivo de los microorganismos con los alimentos y la eficaz eliminación de los desechos del sistema. En resumen, mantener condiciones óptimas en el retículo-ruminal es crucial para el bienestar y la salud digestiva de los rumiantes. Esto asegura una fermentación eficiente y la producción de nutrientes esenciales a partir de los alimentos consumidos (Lyu et al., 2018).

#### *Metabolismo de los rumiantes*

El metabolismo de los rumiantes es un proceso complejo que involucra la transformación de nutrientes obtenidos de los alimentos en compuestos más simples que el animal puede utilizar para el crecimiento, mantenimiento y producción de energía. El metabolismo de los rumiantes está adaptado para aprovechar eficientemente los nutrientes de una dieta basada en fibras vegetales.

La complejidad de su sistema digestivo y la interacción entre los microorganismos en el rumen permiten a los rumiantes obtener nutrientes esenciales de fuentes de alimentos que de otro modo serían difíciles de digerir. Una población microbiana equilibrada contribuye a prevenir trastornos digestivos y promueve el bienestar del rumiante. Por lo tanto, la gestión nutricional de los animales rumiantes debe tener en cuenta no solo las necesidades nutricionales del animal en sí, sino también las necesidades de la población microbiana que realiza funciones digestivas críticas en su sistema digestivo (Lyu et al., 2018).

### Producción de ácidos grasos volátiles (AGV) en el rumen

La mayoría de los hidratos de carbono de la dieta son fermentados en el rumen para formar ácidos grasos volátiles (AGV's): principalmente ácido acético, ácido propiónico y ácido butírico. La concentración de AGV's en rumen varía de acuerdo con la proporción de hidratos de carbono solubles e insolubles en la dieta, por ejemplo, el consumo de forrajes maduros genera una mayor proporción de acetato (70%), propionato (20%) y butirato (10%) (Arias Islas et al., 2020).

La comprensión de cómo el perfil de los AGV en el rumen afecta estos diversos aspectos es crucial para optimizar la producción ganadera y minimizar el impacto ambiental. La investigación continua en este campo contribuye al desarrollo de prácticas nutricionales y de gestión más sostenibles y eficientes en la producción de rumiantes.

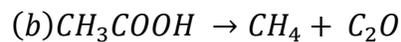
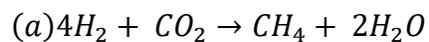
### Producción de metano en rumiantes

La metanogénesis constituye un proceso esencial en los rumiantes, desempeñando un papel fundamental en el ciclo global del carbono; y además contribuye significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero. Como se ha mencionado previamente, los hidratos de carbono actúan como la principal fuente de energía para los rumiantes. En el rumen, los polisacáridos como la celulosa, hemicelulosa y almidón experimentan hidrólisis, transformándose en hexosas y pentosas. Estos compuestos siguen un compuesto de fermentación que culmina en la formación de AGV's, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), hidrogeno (H<sub>2</sub>) y amoníaco (NH<sub>3</sub>) (Beauchemin et al., 2020).

La generación de metano ( $\text{CH}_4$ ) en el rumen está vinculada principalmente a la actividad de las arqueas metanogénicas. Estas arqueas desempeñan un papel crucial en el ciclo de producción de  $\text{CH}_4$ , y su actividad está relacionada con la presencia de  $\text{H}_2$ , que es un subproducto de diversas etapas del proceso de fermentación en el rumen (Mitsumori et al., 2012).

La relación entre la producción de  $\text{CH}_4$  y los AGV's, especialmente acetato, propionato y butirato, es un factor clave en la metanogénesis en rumiantes. Comprender esta interacción entre los diferentes ácidos grasos volátiles y la competencia por el  $\text{H}_2$  en el rumen es esencial para el desarrollo de estrategias de mitigación de las emisiones de metano asociadas con la producción de rumiantes (Moss et al., 2000).

La metanogénesis ruminal puede ocurrir por tres rutas diferentes: hidrogenotrófica (ecuación a), acetoclástica (ecuación b) y metilotrófica (ecuación c) (Pereira et al., 2022):



De estas rutas, la más común es la hidrogenotrófica probablemente debido a que la energía involucrada es, más favorable, lo que resulta en tasas de crecimiento más lentas y menores rendimientos celulares para los microorganismos involucrados en las otras vías de metanogénesis. La comprensión de estas rutas es esencial para el desarrollo de estrategias de mitigación dirigidas a reducir las emisiones de metano asociadas con la producción ganadera (Fenchel et al., 2012).

### *Problemática del metano entérico*

El CH<sub>4</sub> es un potente gas con efecto invernadero que contribuye con aproximadamente el 18% del calentamiento global. El potencial de calentamiento global del CH<sub>4</sub> es de 28 veces mayor que el CO<sub>2</sub> y se emite principalmente por fermentación entérica y fermentación de excretas (NASEM, 2016).

Las emisiones provenientes directamente de las actividades ganaderas representan cerca del 62% del total global de emisiones agropecuarias (FAO, 2022), globalmente se calcula que los rumiantes producen aproximadamente 80 millones de toneladas de CH<sub>4</sub> anualmente (Beauchemin et al., 2008). Las emisiones relacionadas con la industria de la agroforestería provienen en mayor parte por el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) liberado por los suelos para la agricultura y el CH<sub>4</sub> liberado por la fermentación entérica, el manejo de excretas y los cultivos de arroz, en suma, dan un total de 5 a 5.8 gigatoneladas (Gt) CO<sub>2</sub> equivalentes/año (IPCC, 2015). La industria ganadera contribuye aproximadamente con el 14.5% de las emisiones antropogénicas globales Z (Gerber, 2013).

Debido a lo anterior en años recientes ha incrementado el interés en el uso para disminuir las emisiones de CH<sub>4</sub> entérico.

## *Estrategias para disminuir metano*

El Cuadro 3 describe algunas estrategias empleadas para disminuir el CH<sub>4</sub>.

Cuadro 3. Estrategias para la disminución de CH<sub>4</sub>

<b>Estrategia</b>	<b>Acción</b>
<b>Alimentación</b>	Composición nutricional de la dieta Fibra insoluble de las paredes celulares en la dieta favorecen una mayor relación de acetato: propionato, lo que incrementa la producción de CH <sub>4</sub> . Fermentación de hidratos de carbono solubles disminuye la producción de CH <sub>4</sub> (Johnson & Johnson, 1995).
<b>Intensificación de la producción</b>	Si la productividad animal mejora, la cantidad de CH <sub>4</sub> producido relativo a la cantidad de producto generado disminuye (intensidad de emisiones). Utilizar una vaca de alto rendimiento, en lugar de 2 vacas de bajo rendimiento, para producir 10000 kg de leche/año esto puede reducir en un 67% las emisiones de CH <sub>4</sub> (Yan et al., 2006).
<b>Manejo del pastoreo</b>	La producción de CH <sub>4</sub> aumenta a medida que el forraje madura (Johnson & Johnson, 1995). Muñoz <i>et al.</i> , (2016) demostraron que un buen manejo de pastoreo en el que se ofrezca a las vacas una biomasa forrajera pre-pastoreo de ~2200 KgMS/ha resultó en menos emisiones de CH <sub>4</sub> en comparación de un pre-pastoreo de ~5000 KgMS/ha. (Muñoz et al., 2016).
<b>Aditivos en la dieta</b>	Ionóforos Monensina en cápsulas a vacas estabuladas con pasto ryegrass se redujo 9% en las emisiones de CH <sub>4</sub> (g/KgMS) (Vugt et al., 2005). En la dieta de vacas lecheras se adicionó 24 mg de Monensina/KgMS lo que ocasionó una reducción del 9% CH <sub>4</sub> g/KgPV (Odongo et al., 2007).
<b>Compuestos secundarios de plantas</b>	Taninos condensados Actúan a través de una reducción en la digestión de la fibra Taninos hidrosolubles Inhiben las bacterias metanógenas (Vélez-Terranova et al., 2014). Saponinas: Disminuyen la producción de CH <sub>4</sub> inhibiendo a los protozoarios (Eckard et al., 2010).
<b>Defaunación ruminal</b>	Eliminación completa de los protozoarios ciliados reduce la emisión de CH <sub>4</sub> entre 50 y 60% (Ushida et al., 1986).
<b>Uso de lípidos</b>	Adicionar lípidos causa una reducción del 37-38% de la cantidad de protozoarios. Adicionar semilla de canola y semilla de girasol, logra una reducción de CH <sub>4</sub> entre 11 y 17% (Beauchemin, <i>et al.</i> , 2009). Al adicionar lípidos a la dieta de bovinos disminuyen las emisiones de CH <sub>4</sub> , mediante la reducción de microorganismos fermentadores en el rumen y los lípidos ricos en ácidos grasos insaturados, son capaces de capturar H <sub>2</sub> a través de la biohidrogenación y así se reduce la disponibilidad de H <sub>2</sub> para la formación de CH <sub>4</sub> (Johnson & Johnson, 1995).

### *Uso de lípidos en la alimentación de rumiantes*

Los lípidos de origen vegetal y animal son usados en raciones para rumiantes con el fin de incrementar la densidad energética (Brask et al., 2013). Existe evidencia suficiente para decir que los lípidos disminuyen la producción de CH<sub>4</sub> por medio del efecto que tienen sobre las arqueas (Hristov et al., 2013). Rabiee (2012) hizo un metaanálisis donde evaluaron todo tipo de lípidos utilizados en la alimentación animal (sebo, aceite de origen de semillas de oleaginosas, grasa saturada, etc.), dando como resultado una disminución del consumo de materia seca, siendo el promedio de 22-0.88 kg/vaca/día; mientras que la producción de leche aumento en un promedio de 1.05 kg/vaca/día (Rabiee et al., 2012). La adición de diferentes niveles de aceites (soya, coco, canola, palma, etc.) a dietas de rumiantes ha mostrado reducir la producción de CH<sub>4</sub> entre un 19 y 72% con métodos *in vitro* (Dohme et al., 2000).

McGinn et al. (2004) reportaron que al adicionar aceite de girasol en un 5% de inclusión, disminuye las emisiones de metano en un 22%, en comparación con la dieta control; así como la digestibilidad de la fibra detergente neutra (FDN) del tracto total en un 20%. Por lo tanto, el uso de aceite de girasol favorece la disminución de CH<sub>4</sub>, pero afecta la digestibilidad de la fibra (McGinn et al., 2004).

Beauchemin y McGinn (2006) evaluaron el efecto del ácido fumárico, aceites esenciales y aceite de canola en bovinos en crecimiento, con una inclusión de 4.6% de aceite de canola del consumo de materia seca, dando como resultado una disminución de las emisiones de metano totales en un 32% y asimismo hubo un efecto dentro de estas mismas emisiones debido a que el consumo de materia seca disminuyó, así como la digestibilidad total de la materia seca. Por lo tanto, los autores señalan que el aceite de canola favorece la disminución de las emisiones de CH<sub>4</sub>, pero se ve afectada la ingesta de alimento, así como la digestibilidad de la fibra (Beauchemin & McGinn, 2006).

El aceite de girasol se ha empleado como una opción para disminuir la producción de CH<sub>4</sub> ruminal, este aceite se caracteriza por tener un contenido elevado de ácidos grasos insaturados, en particular el ácido linoleico (ASAGIR, 2003). Otro estudio evaluó la adición de 4% de aceite de girasol aumentando el contenido de grasa en leche, el rendimiento de la grasa láctea, y también se observó que al adicionar porcentajes altos de forraje con semillas enteras de colza, en el isómero *trans cis-9 C18:1* se dió un aumento considerable, sin embargo, al

utilizar porcentajes bajos de forraje con aceite de girasol, el principal efecto que se vio, fue en la leche, ya que la cantidad de isómeros aumentaron, particularmente *trans11 C18:1* y *cis 9, trans-11 ácido linolénico conjugado*. (Ollier et al., 2009)

Gómez-Cortés (2010) observó en una dieta Forraje: Concentrado (70:30) y la inclusión de aceite de girasol en 0.6% afectaba el rendimiento de la leche, mientras que la proporción de concentrado indujo cambios en el perfil de ácidos grasos de la leche, y en los animales suplementados con aceite de girasol disminuyó la cantidad de ácidos grasos saturados, y se redujo el índice de aterogenicidad en 25% (Gómez-Cortés et al., 2011).

Prieto-Manrique (2016) demostró que vacas en una lechería tropical suplementadas con aceite de girasol al 2 y 4% no modificaron su consumo de forraje, así como tampoco la producción y composición de la leche. (Prieto-Manrique et al., 2016). Mientras, Martínez-Marín (2012) indica que la adición de aceite de girasol a la dieta de cabras lecheras no tiene efecto negativo sobre la producción de leche en inclusiones de 48 g/d de aceite de girasol con un contenido normal de ácido linoleico, en comparación con aceite de girasol con alto contenido de ácido oleico y aceite de lino (Martínez-Marín et al., 2012). En un estudio reciente se evaluaron el efecto de la adición de aceite de canola en la alimentación de animales en pastoreo, observaron que la suplementación con el aceite disminuye la emisión de CH<sub>4</sub> y la relación acetato/propionato en relación con el grupo control (Pinares-Patiño et al., 2016).

Mata e Silva (2017) demostraron que la inclusión de 2.5% de aceite de girasol en la alimentación de vacas en condiciones tropicales ocasiona una disminución en la producción de CH<sub>4</sub> sin alterar el consumo de alimento y producción de leche (Mata E Silva et al., 2017), y Vargas *et al.* (2020), demostraron en estudios *in vitro* que incluir un 6% de aceite de girasol en condiciones similares al rumen, favorece la fermentación ruminal, reduce entre 21-28% la producción de CH<sub>4</sub>, aumenta la concentración de ácido propiónico sin afectar la digestibilidad de la dieta (Vargas et al., 2020).

Cuadro 4. Estudios referentes al uso de lípidos en la alimentación de rumiantes

Tratamientos, % de Inclusión utilizado y Tipo de animales	Resultados	Técnica de medición de CH <sub>4</sub>	Referencia
<p>4 vacas Holstein canuladas en rumen, duodeno e íleon. Tratamientos: 1- CON (Dieta control baja en grasa) 3.5% INC. 2- RSC (Dieta control baja en grasa con torta de colza) 5.5% INC. 3- WCR (Dieta control baja en grasa con semillas de colza trituradas) 6.2% INC. 4- RSO (Dieta control baja en grasa con aceite de colza) 6.5% INC.</p>	<p>La suplementación con grasas no afectó la producción de leche. La digestibilidad total y la digestibilidad ruminal no fueron afectadas por el tratamiento para ningún nutriente medido. La suplementación con grasas no afectó las concentraciones de AGV en el rumen. La adición de suplementos de grasa redujo la producción de CH<sub>4</sub>/L/d.</p>	<p>Cámaras de respiración de circuito abierto.</p>	<p>Brask et al., 2013</p>
<p>Se utilizó un aparato RUSITEC para investigar los efectos de 7 tipos de grasas diferentes, sobre la metanogénesis de rumiantes. Estudio <i>In vitro</i> Tratamientos: Sebo, aceite de coco, aceite de palmiste, grasa de leche, aceite de canola A, aceite de palma, aceite de canola B y grasa protegida.</p>	<p>El aceite de coco, aceite de palmiste y 1 de los 2 aceites de canola modificado genéticamente son capaces de suprimir el CH<sub>4</sub>, metanogénesis y ciliados de manera <i>in vitro</i>. En estudios <i>in vivo</i> principalmente el aceite de coco altera la palatabilidad de las dietas afectando la ingesta de materia seca.</p>	<p>Fermentadores RUSITEC</p>	<p>Dohme et al., 2000</p>
<p>16 novillos Holstein. Se realizaron 2 experimentos Exp.1: Control (sin aditivo), monensina 33mg/Kg MS, aceite de girasol 5% INC. EXP.2: Control (sin aditivo), levadura Procreatin-7 a 4 g/d, levadura Levucell SC 1g/d y ácido fumárico 80 g/d. Dieta control: 75% ensilaje de cebada y 19% grano de cebada laminado al vapor y 6% de suplemento.</p>	<p>Exp.1: El aceite de girasol redujo las emisiones de CH<sub>4</sub> en un 22% en comparación con el control, mientras que monensina y la enzima no tuvo ningún efecto. Sin embargo, la inclusión de aceite disminuyó la digestibilidad del tracto gastrointestinal en un 20%. Exp.2: La levadura Procreatin-7, levadura Levucell SC y ácido fumárico no tuvo ningún efecto sobre las emisiones de CH<sub>4</sub>.</p>	<p>Cámara de ventilación para medir gases.</p>	<p>McGinn et al., 2004</p>

<p>16 novillas Angus Tratamientos: Control (sin aditivo), ácido fumárico (175 g/d) con bicarbonato de sodio (75 g/d), aceite esencial y extracto de especias (1 g/d) o aceite de canola (4.6% de CMS). Dieta control: 75% ensilaje de cebada y 19% grano de cebada laminado al vapor y 6% de suplemento.</p>	<p>La adición de aceite de canola disminuyó las emisiones diarias de CH<sub>4</sub> en un 32%, sin embargo, gran parte de la reducción de las emisiones de CH<sub>4</sub> se debió a la disminución de consumo de alimento y menor digestibilidad del tracto gastrointestinal de MS y fibra.</p>	<p>Cámara de ventilación para medir gases.</p>	<p>Beauchemin &amp; McGinn, 2006</p>
<p>16 vacas Holstein X Gyr Tratamientos: Concentrado con aceite de girasol, 2.5%INC</p>	<p>Vacas lecheras que consumen pasto tropical suplementadas con aceite de girasol, se mitigaron las emisiones de CH<sub>4</sub> sin afectar el rendimiento o la composición de la leche.</p>	<p>Técnica de Hexafluoruro de azufre</p>	<p>Mata e Silva et al., 2017</p>
<p>16 cabras multíparas en media lactancia 4 tratamientos: HF: Forraje alto 64:36 LF: Forraje bajo (LF) HF con aceite de semillas de colza (RS) 130 g/d LF con aceite de girasol (SO) 130 g/d</p>	<p>La producción de leche, lactosa y proteína fue menor con la dieta HF-RS que, con las otras dietas, mientras que el tratamiento No tuvo efecto sobre el contenido de proteína de la leche. El contenido de grasa láctea fue mayor con las dietas HF-RS y LF-SO que con las dietas HF y LF. Y la suplementación con aceite de girasol aumentó la producción de grasa láctea en comparación con la dieta LF. Complementar la dieta LF con SO cambio casi todas las concentraciones de AG, incluidos AG saturados de cadena media y grandes aumentos en los isómeros Trans C18:1 y C18:2 (particularmente trans-11 C18:1 y cis-9, trans-11 ácido linoleico conjugado), sin cambios significativos en C18:0 y cis-9 C18:1</p>	<p>N/A</p>	<p>Ollier et al., 2009</p>

<p>60 ovejas ASSAF lactantes 6 tratamientos: Dieta control F:C (30:70) F:C (50:50) F:C (70:30) Dieta control más 20g/Kg MS de aceite de Girasol (SO)</p>	<p>La suplementación con SO disminuyó significativamente los AG saturados y mejora el CLA total. Disminuyó el valor del índice de aterogenicidad en 25% y duplico el contenido de AG saludables como trans-11 C18:1 y Cis-9, trans-11 CLA. En una dieta alta concentración (70:30) con aceite de girasol podría cambiar las vías de biohidrogenación del ácido linoleico, lo que resultaría en un aumento significativo en trans-10 C18:1, trans-9, cis-11 C18:2 y trans-10, cis 12 C18:2 en % de grasa láctea.</p>	N/A	Gómez-Cortés et al., 2011.
<p>Se trabajó con nueve vacas, con más de dos partos y entre 70 -110 días de lactancia Evaluar la suplementación con aceite de girasol al 0, 2 y 4 % INC, MS</p>	<p>El consumo de forraje, la producción y composición de la leche no fueron afectadas por los tratamientos. La proporción de ácido linoleico conjugado c9t11 en la leche tendió a aumentar, los ácidos transvaccénico y oleico aumentaron linealmente con los 2 niveles de suplementación y los ácidos grasos aterogénicos C12:0, C14:0 y C16:0 disminuyeron obteniéndose una leche con mayor cantidad de ácidos grasos insaturados y menor índice de aterogenicidad, que ofrece beneficios para la salud humana.</p>	N/A	Prieto-Manrique et al., 2016.
<p>12 cabras Malagueña 4 tratamientos: Dieta control sin aceite y 48 g/d de aceite: GAO: aceite de girasol alto oleico GN: aceite de girasol normal LN: aceite de lino La dieta control estaba compuesta por heno de alfalfa y un concentrado en el que se incluyó el aceite correspondiente y cromo como indicador.</p>	<p>La inclusión de aceite en la dieta aumentó significativamente la digestibilidad de la grasa. No hubo diferencias significativas en el consumo de alimentos y la producción y composición de la leche entre los tratamientos. Es posible incluir cantidades moderadas de aceite vegetal rico en ácidos grasos insaturados en la dieta de cabras en lactación sin ocasionar efectos negativos sobre la digestibilidad de los nutrientes o los parámetros productivos.</p>	N/A	Martínez-Marín et al., 2010.

<p>60 novillos en pastoreo Tratamientos: Dieta control: Pasto (<i>Lolium perenne</i>) Dieta con aceite de canola franja (0.1 ha/d) rociada con aceite de canola.</p>	<p>El consumo de materia seca fue más alto cuando se consumió pasto rociado con aceite de canola que en el pasto sin aceite. Las emisiones de CH<sub>4</sub> fueron bajas en animales que consumieron pasto con aceite en comparación con animales que consumieron pasto sin aceite.</p>	<p>Técnica de trazador de SF<sub>6</sub></p>	<p>Pinares-Patiño et al., 2016.</p>
<p>Estudio <i>in vitro</i> Tratamientos: CTR: Dieta control (ración mixta altamente concentrada sin aceite) OLV: CTR + aceite de oliva SFL: CTR + aceite de girasol LNS: CTR+ aceite de linaza Todos los aceites se utilizaron a 6% INC. Rumiantes</p>	<p>El pH ruminal no se vio afectado por ninguno de los tratamientos utilizados. La MO, el FDN y la digestibilidad de las proteínas fueron mayores con la dieta LNS que con la dieta SFL. El CH<sub>4</sub> se redujo cuantitativamente al suplementar la dieta control con los diferentes aceites, aunque no fue significativo. La producción de AGV no se vio afectada mediante la adición de aceites a las dieta, pero se vieron efectos significativos de la suplementación con aceites en la producción de AGV específicos, así, la producción de butirato disminuyó al añadir aceite a la dieta y el propionato y los Isoácidos aumentaron significativamente al añadir LNS en comparación con la dieta CTR. La proporción de acetato a propionato en la digestión ruminal fue significativamente reducido en respuesta a la adición de todos los tratamientos con aceites vegetales.</p>	<p>Fermentadores RUSITEC</p>	<p>Vargas et al., 2020.</p>

## **Justificación**

El aumento de la población humana, demanda más proteína animal; lo que nos lleva a que la ganadería se vea en aumento, sabiendo que la ganadería tropical se basa en un sistema de pastoreo continuo, el cual se ha relacionado con una mayor producción de CH<sub>4</sub> en relación con sistemas estabulados, por lo que ha surgido el interés de contrarrestar esta emisión.

Se ha reportado que la inclusión de ácidos grasos insaturados a la dieta de bovinos disminuye las emisiones de CH<sub>4</sub>, son pocos los estudios que han evaluado este efecto en pastoreo tropical, por lo que en el presente estudio se evaluó el efecto del 2% de la inclusión de aceite de canola y aceite de girasol en la alimentación de vacas F1 (Holstein x Cebú) lactantes en trópico sobre la producción, calidad y perfil de ácidos grasos en leche, digestibilidad de la dieta y su efecto sobre las emisiones de CH<sub>4</sub>.

## **Hipótesis**

La inclusión del 2% de ácidos grasos insaturados a la alimentación de vacas F1 (Holstein x Cebú) lactantes en pastoreo bajo condiciones tropicales:

- No afectó el consumo de materia seca.
- Mejoró la condición corporal.
- Incrementó la producción y calidad de leche.
- Disminuyó la producción de CH<sub>4</sub>.
- Incrementó el contenido de ácido acético y disminuirá la cantidad de ácido propiónico en rumen.
- Disminuyó la población de protozoarios en líquido ruminal.

## Objetivos

### *Objetivo general*

Evaluar el efecto de la inclusión del 2% de aceite de canola y aceite de girasol en la alimentación de rumiantes de doble propósito en clima tropical sobre la abundancia de protozoarios, producción de CH<sub>4</sub>, consumo de alimento y producción de leche.

### *Objetivos específicos*

Evaluar el efecto de la inclusión del 2% de aceite de canola y aceite de girasol en la dieta de vacas de doble propósito sobre:

- Consumo de materia seca
- Producción de leche
- Características fisicoquímicas de la leche.
- Fermentación ruminal
- Digestibilidad de la dieta
- Producción de metano

## Metodología

### *Animales y diseño de experimentos*

El proyecto se llevó a cabo en el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical (CEIEGT), Tlapacoyán, Veracruz. Proyecto de SICUAE, Protocolo Número: SICUAE.MC-2019/1-4

Se utilizaron 18 vacas F1 (Holstein X Cebú) en producción; las cuales fueron asignadas a dos bloques, mismos que a su vez se dividieron en tres grupos de tres vacas cada uno y por medio de un diseño permutable se asignaron a diferentes tratamientos:

Ca: Dieta control (pastoreo de *Brachiaria sp*) + concentrado con aceite de canola.

C: Dieta control (pastoreo de *Brachiaria sp*) + concentrado sin aceite.

G: Dieta control (pastoreo de *Brachiaria sp*) + concentrado con aceite de girasol.

Se trabajó en periodos de 18 días; 13 días de adaptación a cada una de las dietas y 5 días de toma de muestras; de cada vaca se tomaron muestras de:

1. Leche: al día 10 y 12
2. Metano: los 18 días
3. Heces: a partir del día 14 hasta el día 18. (se colectó durante los últimos cinco días; tres veces al día, se tomaron aproximadamente 200 gr por muestreo y se guardaron en congelación para su posterior análisis)
4. Líquido ruminal: el día 18 (se colectaron aproximadamente 300 mL de líquido ruminal; el cual se extrajo por medio de sonda esofágica)

#### *Calidad de la leche*

Las muestras de leche se colectaron al momento de la ordeña y se conservaron en refrigeración (-4°C) hasta su análisis. El análisis se realizó con el equipo Ekomilk total (grupo matur, Nicaragua).

Ekomilk total es un analizador multiparamétrico automatizado que proporciona resultados de pruebas rápidas para: grasa (G), sólidos no grasos (S), densidad (D), lactosa (L), proteína (P), punto de congelación (PC), temperatura (T), pH, agua añadida a la leche (AAL).

Se hizo la extracción de grasa basándose en la técnica de Schettino 2011. Se colocó 250mL de una muestra de leche en un matraz volumétrico de 500mL y se adicionó 250mL de una solución detergente (50g de hexametáfosfato de sodio y 24mL de Tritón X-100 disueltos en un litro de agua). El matraz se agitó vigorosamente y se colocó en un baño de maría a 90°C invirtiendo cada 10 minutos el matraz, hasta lograr una clara separación de la materia grasa. La grasa recuperada de las muestras de leche cruda se filtró a 50°C a través de papel filtro en presencia de sulfato de sodio anhidro (Gutiérrez et al., 2009). Las muestras se conservaron en tubos de vidrio almacenados a -20°C hasta el inicio del análisis y determinar el perfil de ácidos grasos en leche por medio de cromatografías de gases.

### *Estimación de metano*

El gas metano se estimó por medio de sensores infrarrojo Gardian, el cual con ciertas adaptaciones se colocó en los comederos y al momento de la ordeña se realizó la medición (Garnsworthy et al., 2012).

### *Estimación de consumo de materia seca*

La estimación de consumo de materia seca se hizo con el programa NRC, 2016 para ganado de carne (NASEM, 2016).

### *Análisis de heces y dieta*

Se realizó una muestra compuesta de las heces de los últimos cinco días de cada periodo y se secaron en estufa a 45°C para deshidratarlas después se molieron y almacenaron en frascos de vidrio para su posterior análisis.

### **Humedad**

La humedad se determinó de acuerdo con el método de la AOAC (AOAC, 1990), que se basa en la pérdida de peso de la muestra por evaporación del agua. El contenido de humedad de las muestras se determinó con la siguiente fórmula:

$$\%HUMEDAD = \frac{(TARA + MF) - (TARA + MD)}{(TARA + MF)} * 100$$

En donde:

TARA = peso en gramos de la tara vacía

TARA + MF = peso en gramos de la tara con la muestra fresca

T + MD = peso en gramos de la tara con la muestra deshidratada

La porción de una muestra que no corresponde a la humedad y donde se concentran los nutrientes es conocida como Materia Seca y se obtiene de la siguiente manera:

$$\%MATERIA SECA = \%100 - \%HUMEDAD$$

## Nitrógeno total

La determinación de nitrógeno total se hizo por medio del Método de Kjeldahl, que se basa en la determinación de la cantidad de nitrógeno contenido en cada una de las muestras, se lleva a cabo en dos pasos: 1) Descomposición de la materia orgánica por medio de calentamiento del ácido sulfúrico concentrado y selenio (catalizador). 2) Determinar la cantidad de amoniaco contenido en la muestra por medio de titulación con HCl 0.1N (AOAC, 1990).

Para calcular la cantidad de nitrógeno en Base Húmeda (BH) de la muestra es necesario aplicar la siguiente fórmula:

$$\%NITROGENO\ TOTAL = \frac{(ml.\ HCl\ de\ muestra) * (N\ del\ ácido) * (0.014)}{gramos\ de\ muestra} * \%MS$$

En donde:

mL HCl = mL de HCl 0.1 N gastados en la titulación – los gastados en el blanco

N = normalidad del ácido

0.0147 = meq de N / 100

% MS = porcentaje de materia seca obtenido por la técnica TDH-DNAB-MV-001.

Para calcular la proteína cruda en Base Húmeda (BH) contenida en la muestra se aplica la siguiente ecuación:

$$\%PC = \frac{(ml.\ HCl\ de\ muestra) * (N\ del\ ácido) * (0.014) * (6.25)}{gramos\ de\ muestra} * \%MS$$

### Cenizas totales

La determinación de cenizas totales (AOAC, 1990), consiste en incinerar la materia orgánica (muestra) en un crisol de porcelana se mete a una mufla en donde la temperatura llega hasta los 500°C, todo lo que no se incinera se considera cenizas y el valor exacto se obtiene con la siguiente fórmula:

$$\%Cen\ Total\ (BH) = \frac{(Peso\ del\ crisol\ con\ muestra\ calcinada) - (peso\ del\ crisol\ solo)}{gramos\ de\ muestra} * \%MS$$

### Cenizas insolubles en ácido clorhídrico

Determinación de cenizas insolubles en ácido clorhídrico al 2N una vez que se obtienen las cenizas totales, se transfieren a un vaso de precipitados y se agregan 5 ml de HCl 2N, se lleva a ebullición durante 5 minutos, posteriormente se filtra la solución en papel filtro se enjuaga con agua caliente y ese papel filtro con la muestra vuelve a meterse a calcinar a 500°C durante 12 horas.

$$\%Cen\ Insolubles = \frac{\left( \begin{array}{l} peso\ del\ crisol\ con \\ cenizas\ de\ la\ muestra \end{array} \right) - (peso\ de\ la\ rodaja\ blanco) - (peso\ del\ crisol\ solo)}{gramos\ de\ muestra\ calcinada} * 100$$

### Fibra detergente neutra

La determinación de fibra detergente neutra (Determinación por reflujo Adaptación del Método AOAC 973.18c (AOAC, 1990)), el método se basa en el uso de una solución de detergente neutro para disolver las pectinas fácilmente digestibles y los contenidos celulares de las plantas, dejando un residuo fibroso que es el principal componente de las paredes celulares de los vegetales. El reflujo se da durante una hora a ebullición con solución FDN (lauril sulfato de sodio USP, EDTA, Borato de sodio decahidratado, fosfato de sodio dibásico anhídrido, trietilenglicol). La FDN es determinada gravimétricamente como el residuo remanente después de la extracción (AOAC, 1990; Goering & Van Soest, 1970).

$$\%FDN \text{ (BS)} = \frac{(W3 - W1)}{W2} * \frac{(MS \text{ lab})}{100} * 100$$

En donde:

**W1** = Peso del crisol en gramos

**W2** = Peso inicial de la muestra en gramos

**W3** = Peso seco del crisol y de la fibra (residuo) en gramos

### Fibra detergente acida

La determinación de fibra detergente ácida (Determinación por reflujo Adaptación del Método AOAC 973.18c (AOAC, 1990)), este método se basa en el uso de una solución de un detergente cuaternario acidificado para disolver los solubles celulares, hemicelulosa y minerales solubles dejando un residuo de celulosa, lignina y proteína dañada por calor y una porción de proteína de la pared celular y minerales (cenizas). El reflujo se da durante una hora a ebullición con solución FDA (Ácido sulfúrico y Cetil trimetil de amonio). La FDA es determinada gravimétricamente como el residuo remanente después de la extracción (AOAC, 1990).

$$\%FDA \text{ (BS)} = \frac{(W3 - W1)}{W2} * 100$$

En donde:

**W1** = Peso del crisol en gramos

**W2** = Peso inicial de la muestra en gramos

**W3** = Peso seco del crisol y de la fibra (residuo) en gramos

### *Análisis de líquido ruminal*

Se extrajo con ayuda de una bomba de vacío y la sonda esofágica y se almacenó de la siguiente manera:

- 100 mL de líquido ruminal para la identificación de microorganismos se mantendrá a  $-80^{\circ}\text{C}$  hasta su análisis.
- 40 mL de líquido ruminal + 10 mL de ácido metafosfórico, se mantuvo en congelación hasta el día del análisis. La muestra se pasó a refrigeración para que se descongelará y posteriormente se centrifugó a 5000 rpm durante 15 minutos a  $-4^{\circ}\text{C}$ . Se recolectó el sobrenadante y se dividió en 3 frascos de vidrio ámbar de aproximadamente 10 mL, los cuales se emplearon para las siguientes pruebas:
  - Determinación de Nitrógeno Amoniacal ( $\text{NH}_3$ ) (Modificación de la técnica: Determinación de amoniaco en sangre total mediante método colorimétrico directo) el fundamento de esta técnica es cuantificar la cantidad de  $\text{NH}_3$  presente en el líquido ruminal (McCullough, 1967).
  - Determinación de ácidos grasos volátiles. (Por medio de cromatografía de gases) (Modificación de la AOAC 971.11 (1971)).
  - 5 mL de líquido ruminal + 5 mL de yodo yodurado. Esta mezcla esta almacenada en refrigeración y su análisis consiste en hacer una cuantificación de *Entodinomorfos* y *Holotricos* (Corona et al., 1999).

### *Análisis estadístico*

El análisis de los datos se realizó con un diseño experimental switchback o permutable reversible. Los datos se analizaron de acuerdo con el siguiente modelo (Sanders & Gaynor, 1987):

$$Y_{ijk} = \mu + p_i + \beta_j + \tau_k + \epsilon_{ijk}$$

En donde,  $Y_{ijk}$  es la variable respuesta, la  $j$ -ésima concentración, en la  $k$ -ésima repetición,  $\mu$  es la media general,  $p_i$  es periodo,  $\beta_j$  es el animal,  $\tau_k$  es el tratamiento y  $\epsilon_{ijk}$  es el error aleatorio.

El análisis estadístico se realizó con el paquete estadístico SAS 9.1

- Procedimiento Mixed de SAS para diseño “Switch Back”.
- Comparación de medias de tratamiento con la prueba de Tukey.

## Resultados y discusión

### *Perfil de ácidos grasos en los aceites*

El Cuadro 5 presenta el perfil de ácidos grasos de los aceites empleados en el presente estudio.

Cuadro 5. Perfil de ácidos grasos del aceite de girasol y aceite de canola

Ácido graso	Aceite de canola	Aceite de girasol
	(g de ácido graso /100 g de aceite)	
Caproico C6	0.12 ± 0.01	0.03 ± 0.00
Caprílico C8	0.21 ± 0.01	0.02 ± 0.00
Láurico C12	0.11 ± 0.00	0.01 ± 0.00
Mirístico C14	0.26 ± 0.01	0.09 ± 0.01
Palmítico C16	5.75 ± 0.22 <sup>a</sup>	4.23 ± 0.10 <sup>b</sup>
Palmitoleico C16:1	0.33 ± 0.01	0.14 ± 0.01
Esteárico C18	1.80 ± 0.02 <sup>b</sup>	3.33 ± 0.01 <sup>a</sup>
Oleico C18:1 N6C	59.54 ± 0.13 <sup>b</sup>	69.76 ± 0.04 <sup>a</sup>
Linoleico C18:2 N6C	20.52 ± 0.01 <sup>b</sup>	18.84 ± 0.01 <sup>a</sup>
Gamma linolénico C18:3	0.22 ± 0.00	0.15 ± 0.00
Araquídico C20	8.76 ± 0.02 <sup>a</sup>	1.21 ± 0.00 <sup>b</sup>
Eicosenoico C20:1	1.07 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.47 ± 0.01 <sup>b</sup>
Heneicosenoico C21	0.24 ± 0.01	0.05 ± 0.01
C22 Y C22:1	0.46 ± 0.01 <sup>b</sup>	1.18 ± 0.01 <sup>a</sup>
Eicosapentaenoico C20:5	0.23 ± 0.02	0.42 ± 0.00
Σ AGS	17.47 ± 0.18 <sup>a</sup>	10.10 ± 0.07 <sup>b</sup>
Σ AGM	61.40 ± 0.19 <sup>b</sup>	71.54 ± 0.06 <sup>a</sup>
Σ AGP	20.98 ± 0.01 <sup>a</sup>	19.41 ± 0.01 <sup>b</sup>
EB (kcal/g)	9.53	9.52

AGS: ácidos grasos saturados. AGM: ácidos grasos monoinsaturados. AGP: ácidos grasos poliinsaturados. EB: Energía bruta kcal/g. Las diferencias estadísticas por hilera se indican con letras diferentes (a>b).  $P < 0.0001$ . Los datos son presentados con las medias ± EEM

El Cuadro 5 muestra el contenido de ácido palmítico, éste es mayor en el aceite de canola en comparación con el aceite de girasol. Mientras que el ácido esteárico, ácido oleico y ácido linoleico se presentan en mayor cantidad en el aceite de girasol que en el aceite de canola. La suma de ácidos grasos monoinsaturados fue mayor en el aceite de girasol, mientras que la suma de ácidos grasos saturados y poliinsaturados fue mayor en el aceite de canola; estos resultados concuerdan con el perfil de ácidos grasos de dichos aceites reportados en la literatura (ASAGIR, 2003 y USDA, 2013).

### Caracterización de forraje y concentrado

Se analizó el perfil de ácidos grasos presentes en el forraje y concentrado consumido por el animal durante cada uno de los periodos (Cuadro 6).

Cuadro 6. Perfil de ácidos grasos en concentrado y forraje

Ácido graso	Concentrado	Forraje
	(g de ácido graso/100 g de concentrado o forraje)	
<b>Laúrico C12</b>	5.94 ± 0.51	1.11 ± 0.67
<b>Mirístico C14</b>	2.21 ± 0.67	0.00
<b>Palmítico C16</b>	30.86 ± 1.17	45.71 ± 1.31
<b>Esteárico C18</b>	1.21 ± 0.29	2.65 ± 0.59
<b>Oleico C18:1 N6C</b>	47.80 ± 1.26	36.48 ± 1.12
<b>Linoleico C18:2 N6C</b>	17.33 ± 0.59	11.18 ± 0.98
<b>Eicosenoico C20:1</b>	2.80 ± 0.25	3.98 ± 0.64

Los datos son presentados con las medias ± EEM.

El forraje presentó mayor cantidad de ácido palmítico en comparación con el concentrado; mientras que en este vemos una mayor cantidad de ácido oleico. También se puede observar que el forraje contiene ácido esteárico y ácido eicosenoico en mayores proporciones (Cuadro 7).

El Cuadro 7 presenta la composición química de la dieta ofrecida a los animales. Los nutrientes presentes en forraje coinciden con los valores que la literatura nos indica, en cuanto al concentrado los valores coinciden con los reportados por el fabricante.

Cuadro 7. Análisis químico proximal del forraje y concentrado

Nutriente (%)	Forraje	Concentrado
<b>Humedad</b>	2.93 ± 0.25	4.74 ± 0.24
<b>Materia seca</b>	97.07 ± 0.25	95.26 ± 0.24
<b>Proteína cruda</b>	7.68 ± 0.47	16.06 ± 0.67
<b>Cenizas totales</b>	19.59 ± 0.34	19.60 ± 0.83
<b>Cenizas insolubles en ácido</b>	11.90 ± 0.31	11.61 ± 0.71
<b>Fibra detergente neutra</b>	72.37 ± 0.63	36.36 ± 0.53
<b>Fibra detergente ácido</b>	38.27 ± 0.79	11.17 ± 0.19
<b>Energía Bruta (Kcal/g)</b>	3.94 ± 0.16	3.72 ± 0.16

Los datos son presentados con las medias ± EEM.

### *Consumo de materia seca y digestibilidad total*

El Cuadro 8 presenta el efecto que tuvo el adicionar aceite de canola y aceite de girasol en la dieta de vacas de doble propósito sobre el consumo de materia seca y la digestibilidad total. El peso vivo de los animales y el consumo de materia seca no se afectaron por los tratamientos. La inclusión del 2% de aceite de canola y aceite de girasol no mostró impacto sobre el consumo de materia seca, lo cual coincide con McGinn (2004) que indica que en una inclusión del 5% de aceite de girasol no tiene efecto alguno sobre la ingesta. Mata e Silva (2017), confirma que en una inclusión del 2.5% no afecta el consumo de materia seca, de la misma manera Prieto-Manrique (2016), también demuestra que el consumo de materia seca no se ve afectado en inclusiones del 2 y 4 %.

Con lo que respecta a la adición del aceite de canola los resultados obtenidos en este estudio difieren; con lo que nos señala Pinares-Patino (2016), los autores señalan que adicionar aceite de canola a vacas en pastoreo en 3.33% de inclusión aumenta el consumo de materia seca. En el presente estudio, los animales que consumieron aceite de canola presentan disminución en el consumo de forraje en comparación con el grupo control y los animales que consumieron aceite de girasol.

En el caso de la digestibilidad, se observa que no existe diferencia entre los valores de digestibilidad de materia seca, materia orgánica, proteína cruda, fibra detergente neutra, fibra detergente ácida y cenizas insolubles en ácido. Esto se puede explicar por el nivel de inclusión de cada aceite que fue del 2% y en la literatura Mata e Silva (2017), nos reporta que utilizar aceite de girasol en una inclusión del 2.5% disminuye la digestibilidad, mientras que en la energía digestible observamos disminución de los valores conforme a la materia seca consumida; mientras que el porcentaje de Energía Digestible con el consumo de cualquiera de los 2 aceites utilizados en este estudio, es similar y la cantidad fue distinta solo según el periodo de medición. La cantidad de CH<sub>4</sub> no se ve afectada por la inclusión de aceites a la dieta. Respecto a los gramos de CH<sub>4</sub> producidos por kilo de leche producida, se ve un aumento, sin embargo, este cambio no fue estadísticamente significativo.

Cuadro 8. Efecto de la adición de aceite de canola y aceite de girasol a la dieta de vacas de doble propósito sobre el consumo de materia seca y la digestibilidad total

Parámetro	Tratamiento			Probabilidad<0.05	
	C	Ca	G	Tratamiento	Periodo
% Inclusión	0	2%	2%		
<i>Consumo</i>					
PV (Kg)	527.98 ± 13.66	523.07 ± 13.66	520.63 ± 13.66	0.1294	<.0001
CMS (Kg)	10.25 ± 0.19	10.06 ± 0.19	10.06 ± 0.19	0.3304	0.3966
Forraje (g)	9292.38 ± 187.68	8901.39 ± 187.68	8912.69 ± 187.68	0.0135	0.3866
Aceite de canola (g)	0	207.17 ± 9.41	0	<.0001	0.0289
Aceite de girasol (g)	0	0	172.29 ± 10	<.0001	0.0139
<i>Digestibilidad</i>					
MS (%)	70.86 ± 0.01	72.16 ± 0.01	72.48 ± 0.01	0.4274	<.0001
MO (%)	74.18 ± 0.01	73.51 ± 0.01	74.8 ± 0.01	0.5459	<.0001
PC (%)	69.70 ± 0.01	70.36 ± 0.01	72.18 ± 0.01	0.1704	<.0001
FDN (%)	70.43 ± 0.01	70.64 ± 0.01	70.81 ± 0.01	0.9669	<.0001
FDA (%)	58.04 ± 0.02	60.51 ± 0.02	60.77 ± 0.02	0.3379	<.0001
CENINS (%)	74.20 ± 0.01	74.39 ± 0.01	74.67 ± 0.01	0.9694	<.0001
<i>Energía Digestible</i>					
ED (Mcal/KgMS)	2.93 ± 0.05	2.9 ± 0.05	2.89 ± 0.05	0.7061	<.0001
ED (Mcal/día)	30.22 ± 0.9	29.14 ± 0.9	29.15 ± 0.9	0.3159	<.0001
ED (%)	70.48 ± 0.01	72.15 ± 0.01	72.71 ± 0.01	0.2779	<.0001
CH <sub>4</sub> (gCH <sub>4</sub> /KgMS)	25.5 ± 0.60	25.73 ± 0.60	25.82 ± 0.60	0.8586	0.6977
PL (gCH <sub>4</sub> /KgPL)	29.36 ± 2.27	30.23 ± 2.27	29.04 ± 2.27	0.6659	<.0001

N: número de animales 18. Tratamientos: C: sin aceite. Ca: Aceite de Canola. G: Aceite de Girasol. Los datos son presentados con las medias ± EEM. CMS: Consumo de Materia Seca (Kg). MS: Materia Seca. MO: Materia orgánica. PC: Proteína Cruda. N: Nitrógeno. CENINS: Cenizas insolubles en ácido clorhídrico. FDN: Fibra detergente neutro. FDA: Fibra detergente acida. ED: Energía digestible. gCH<sub>4</sub>/KgMS: gramos de metano por kilo de materia seca. gCH<sub>4</sub>/KgPL: gramos de metano por kilo de leche producida.

### Fermentación ruminal

El Cuadro 9 muestra el efecto de la adición de aceite de canola y aceite de girasol sobre la fermentación ruminal de vacas de doble propósito.

Cuadro 9. Efecto de la adición de aceite de canola y aceite de girasol a la dieta de vacas de doble propósito sobre el contenido de ácidos grasos volátiles, pH y NH<sub>3</sub> en líquido ruminal

Parámetro	Tratamiento			Probabilidad P<0.05	
	C	Ca	G	Tratamiento	Periodo
% Inclusión	0	2%	2%		
<i>Contenido de Ácidos Grasos Volátiles (AGV's) (mM/L)</i>					
Acetato	78 ± 0.01	77 ± 0.01	76 ± 0.01	0.2678	0.7272
Propionato	14 ± 0.004	14 ± 0.004	15 ± 0.004	0.4474	0.2522
Butírico	6.9 ± 0.003	7.30 ± 0.003	7.70 ± 0.003	0.3133	0.8741
Relación A:P	5.6 ± 0.002	5.5 ± 0.002	5.2 ± 0.002	0.3527	0.2561
Isobutírico	0.5 ± .001	0.5 ± .001	0.6 ± .001	0.515	0.0155
Valérico	0.5 ± .001	0.6 ± .001	0.6 ± .001	0.7229	0.0274
Isovalérico	0.5 ± .001	0.5 ± .001	0.6 ± .001	0.4211	0.0156
Total de AGV's	93.21 ± 6.87	97.56 ± 6.5	99.03 ± 7.28	0.086	0.0001
pH	6.99 ± 0.12	6.78 ± 0.11	7.03 ± 0.12	0.2824	0.0292
NH <sub>3</sub> (mg/dL)	6.83 ± 0.97	8.34 ± 0.92	6.72±1.03	0.4041	0.0046

N: número de animales 18. Tratamientos: C: sin aceite. Ca: Aceite de Canola. G: Aceite de Girasol. NH<sub>3</sub>: Nitrógeno amoniacal (mg/dL). Los datos son presentados con las medias ± EEM.

Los tratamientos no modificaron el perfil de ácidos grasos volátiles. Diversos estudios han demostrado que la inclusión de ácidos grasos poliinsaturados en la alimentación de rumiantes modifica el perfil de AGV, sin embargo, Zened y colaboradores (2013) evaluaron la inclusión de un 5% de aceite de girasol en dietas de vacas lecheras y observaron que al añadir aceite de girasol el pH ruminal no se vio afectado y la cantidad de ácidos grasos volátiles registraron una tendencia (P<0.086) a su aumento en comparación con la dieta control. (Zened et al., 2013). En este estudio el pH no se vio afectado, por lo tanto, los mecanismos fisiológicos de los animales no fueron alterados. Al adicionar aceite de canola y aceite de girasol no hubo efecto sobre la concentración de nitrógeno amoniacal, por lo tanto, no hay riesgo de que los animales puedan sufrir alguna intoxicación.

### Protozoarios en rumen

El Cuadro 10 muestra el efecto que tuvo adicionar aceite de canola y aceite de girasol sobre el conteo de protozoarios en el líquido ruminal de vacas de doble propósito.

Cuadro 10. Conteo de protozoarios en líquido ruminal

Parámetro	Tratamiento			Probabilidad P<0.05	
	C	Ca	G	Tratamiento	Periodo
% Inclusión	0	2%	2%		
<b>Protozoarios en rumen, organismos x 10<sup>4</sup>/ml.</b>					
<b>Holotricos</b>	275.00 ± 35.47	244.72 ± 35.47	231.94 ± 35.47	0.6814	0.0036
<b>Entodinomorfos</b>	1561.67 ± 243.19	1680.61 ± 243.19	1504.56 ± 243.19	0.8480	0.0010
<b>Total</b>	1839.21 ± 248.89	1927.93 ± 248.89	1745.32 ± 248.89	0.8535	0.0033

N: número de animales 18. Tratamientos: C: sin aceite. Ca: Aceite de Canola. G: Aceite de Girasol. NH3: Nitrógeno amoniacal (mg/dL). Los datos son presentados con las medias ± EEM.

La cuantificación de protozoarios no mostró diferencias estadísticamente significativas por el tratamiento utilizado, sin embargo, en los protozoarios del género *Entodinomorfos* el número aumentó cuando las vacas consumieron aceite de canola y fue menor cuando recibieron aceite de girasol, comparados con el tratamiento sin aceite. El comportamiento fue distinto en los protozoarios del género *Holotricos* ya que estos presentaron una tendencia a disminuir conforme se va adicionando aceite, teniendo al parecer mayor efecto el aceite de girasol. En ambos géneros de protozoarios el periodo tuvo un efecto estadísticamente significativo, esto se relaciona principalmente a factores derivados del ambiente, como son: la humedad, clima, temporalidad del año, etc. Estos factores a su vez también modifican el alimento de los animales ya que como se mencionó su dieta base consiste en forraje.

### *Producción y calidad de leche*

En el Cuadro 11 se observa el efecto de la inclusión de aceite de canola y aceite de girasol sobre la producción y calidad de la leche.

Cuadro 11. Efecto de la adición de aceite de canola y aceite de girasol a la dieta de vacas de doble propósito sobre la producción de leche y sus características fisicoquímicas

Parámetro	Tratamiento			Probabilidad P<0.05	
	C	Ca	G	Tratamiento	Periodo
% Inclusión	0	2%	2%		
Producción de leche al día (Kg)	9.55 ± 1.01	9.93 ± 1.01	10.63 ± 1.01	0.1026	<.0001
Contenido de grasa (%)	4.18 ± 0.28	4.64 ± 0.28	4.22 ± 0.28	0.4371	0.5016
Sólidos totales (%)	7.96 ± 0.16	8.16 ± 0.16	8.17 ± 0.16	0.4063	0.1118
Acidez (°D)	25.49 ± 0.66	25.84 ± 0.66	24.26 ± 0.66	0.1422	0.5148
Proteína total (%)	3.02 ± 0.06	3.09 ± 0.06	3.10 ± 0.06	0.3791	0.0964

Tratamientos: C: sin aceite. Ca: Aceite de Canola. G: Aceite de Girasol. N: número de animales 18. Los datos son presentados con las medias ± EEM.

No se registraron diferencias estadísticamente significativas por el tratamiento utilizado; sin embargo, la producción de leche tendió a ser mayor en los animales que consumieron aceite de girasol en comparación con animales que consumieron aceite de canola, el contenido de grasa se vio favorecido en animales que consumieron aceite de canola, así como la acidez, mientras que la cantidad de sólidos totales y proteína cruda es mayor al dar aceite de girasol. Los valores de tendencia hacia mayor producción de leche y sus características fisicoquímicas, son similares al comportamiento reportado por Prieto-Manrique en 2016.

### *Producción de metano*

El Cuadro 12 se observa el efecto de la inclusión de aceite de canola y aceite de girasol sobre la producción de metano.

Cuadro 12. Efecto de la inclusión de aceite de canola y aceite de girasol sobre la producción de metano

Parámetro	Tratamiento			Probabilidad P>0.05	
	C	Ca	G	Tratamiento	Periodo
% Inclusión	0	2%	2%		
LMILK	0.4934± 0.37	0.9445 ± 0.40	1.315 ± 0.42	0.3426	0.634
MER	1442.03 ± 278.30	1088.35 ± 295	1762.95 ± 313.91	0.3102	0.1627
CH <sub>4</sub> D (g/d)	1648.67 ± 292.07	1385.87 ± 309.59	1981.36 ± 329.40	0.4289	0.2235

N: número de animales 18. Tratamientos: C: sin aceite. Ca: Aceite de Canola. G: Aceite de Girasol. Los datos son presentados con las medias ± EEM. LMILK: Tiempo de ordeño (seg.). MER: concentración real de los picos (mg/min). CH<sub>4</sub>D: Cantidad de Metano por día (g/d).

No hubo efecto significativo debido a los tratamientos, sin embargo, es notorio que el tiempo de ordeño fue en aumento conforme se fueron adicionando los aceites, mientras que en la concentración de CH<sub>4</sub> producida por el animal por día se observa una ligera disminución al utilizar aceite de canola y ese comportamiento es contrario a la utilización de aceite de girasol. La respuesta distinta en la producción de CH<sub>4</sub> según el tipo de aceite utilizado, coincide con lo reportado en 2013, por Brask, al suplementar la dieta de vacas lecheras con diferentes tipos de grasas, utilizando aceite de canola hasta en un 6.5% de inclusión, sin embargo, en el presente estudio los resultados se vieron afectados principalmente por el nivel de inclusión utilizado.

*Perfil de ácidos grasos de la leche de vacas de doble propósito*

El Cuadro 13 presenta el perfil de ácidos grasos de la leche de vacas alimentadas con aceite de canola y aceite de girasol.

Cuadro 13. Perfil de ácidos grasos en la leche de vacas alimentadas con aceite de canola y aceite de girasol

Parámetro	Tratamiento			Probabilidad P<0.05	
	C	Ca	G	Tratamiento	Periodo
<b>% Inclusión</b>	<b>0</b>	<b>2%</b>	<b>2%</b>		
<b>Butírico (C4)</b>	0.80 ± 0.21	0.76 ± 0.21	0.92 ± 0.21	0.8492	0.0024
<b>Caproico (C6)</b>	1.78 ± 0.31	1.61 ± 0.31	1.71 ± 0.31	0.9261	0.0775
<b>Caprílico (C8)</b>	1.28 ± 0.22	1.07 ± 0.22	1.11 ± 0.22	0.7791	0.0028
<b>Caprico (C10)</b>	3.21 ± 0.53	2.77 ± 0.53	2.61 ± 0.53	0.7031	0.0031
<b>Laúrico (C12)</b>	2.54 ± 0.34	2.60 ± 0.34	2.38 ± 0.34	0.8776	<.0001
<b>Mirístico (C14)</b>	11.66 ± 1.28	9.46 ± 1.28	9.72 ± 1.28	0.4013	<.0001
<b>Miristoleico (C14:1)</b>	1.56 ± 0.55	1.36 ± 0.55	2.33 ± 0.54	0.4259	0.2051
<b>Pentadecanoico (C15)</b>	1.50 ± 0.22	1.47 ± 0.22	1.41 ± 0.22	0.9532	0.3043
<b>Palmitico (C16)</b>	32.98 ± 4.06	32.02 ± 4.03	29.14 ± 4.06	0.7684	0.1511
<b>Palmitoleico (C16:1)</b>	1.34 ± 0.27	1.39 ± 0.27	1.78 ± 0.27	0.4381	0.3741
<b>Heptadecanoico (C17)</b>	0.77 ± 0.10	0.79 ± 0.10	0.64 ± 0.10	0.5087	<.0001
<b>Esteárico (C18)</b>	9.74 ± 1.06	10.68 ± 1.06	10.45 ± 1.06	0.7912	0.0035
<b>Elaídico (Trans9 C18:1)</b>	8.70 ± 4.16	9.29 ± 4.16	8.77 ± 4.16	0.994	0.0524
<b>Oleico (Cis9 C18:1)</b>	19.51 ± 2.18	21.56 ± 2.18	20.21 ± 2.18	0.7882	0.0021
<b>Linoleico conjugado (Trans6 C18:2)</b>	0.13 ± 0.14	0.19 ± 0.14	0.45 ± 0.14	0.2164	0.1638
<b>Linoleico (Cis6 C18:2)</b>	0.67 ± 0.11	0.58 ± 0.11	0.69 ± 0.11	0.7101	0.4545
<b>Gamma Linolénico (C18:3 Gamma)</b>	0.08 ± 0.03	0.08 ± 0.03	0.06 ± 0.03	0.8964	0.1383
<b>Alfa Linolénico (C18:3 Alfa)</b>	0.11 ± 0.06	0.10 ± 0.06	0.21 ± 0.06	0.306	0.0145
<b>Araquídico (C20)</b>	1.37 ± 1.29	1.70 ± 1.29	4.40 ± 1.29	0.2077	0.1231
<b>Índice Aterogénico</b>	3.10 ± 0.68	1.82 ± 0.68	2.05 ± 0.68	0.3657	0.7858

Tratamientos: C: sin aceite. Ca: Aceite de Canola. G: Aceite de Girasol. N: numero de animales 18. Los datos son presentados con las medias ± EEM.

El perfil de los ácidos grasos no presenta diferencias estadísticamente significativas por parte del tratamiento, sin embargo, por parte del periodo hay efecto sobre los ácidos grasos: butírico (C4), caprílico (C8), caprico (C10), laúrico (C12), mirístico (C14), heptadecanoico (C17), esteárico (C18), oleico (C18:1 *cis*9) y alfa linolénico (C18:3 alfa). Esto se debe principalmente a factores ambientales en conjunto con el tipo de aceite utilizado, al adicionar aceite de girasol se registra una tendencia de aumento sobre los ácidos grasos: butírico (C4), miristoleico (C14:1), palmitoleico (C16:1), linoleico conjugado (*Trans*6 C18:2), linoleico (Cis6C18:2), alfa linolénico (C18:3 alfa) y araquídico (C20). Mientras que sobre los ácidos

grasos: caprico (C10), laúrico (C12), pentadecanoico (C15), palmítico (C16), heptadecanoico (C17) y gamma linolénico (C18:3 *gamma*), la tendencia sobre sus valores es de disminución.

Al adicionar aceite de canola la cantidad de los siguientes ácidos grasos: laúrico (C12), heptadecanoico (C17), esteárico (C18), oleico (*Cis*9C18:1), disminuye; el ácido graso alfa linolénico se queda con los mismos valores mientras que el butírico (C4), caproico (C6), caprílico (C8), mirístico (C14), miristoleico (C14:1), palmítico (C16), linoleico (*Cis*6C18:2) y alfa linolénico (C18:3 *alfa*), disminuye.

El índice aterogénico es un indicador para la salud humana, que ayuda a visualizar numéricamente cuando se está en riesgo o no, de padecer alguna enfermedad vascular que se caracteriza por la acumulación de partículas de colesterol en las paredes de las arterias.

Según los resultados registrados en el Cuadro 12, es posible observar disminución de los ácidos grasos: laúrico (C12), mirístico (C14) y palmítico (C16) (a partir de estos ácidos grasos obtenemos el índice aterogénico) si bien no hay un efecto estadísticamente significativo, por parte del tratamiento utilizado, sin embargo, al utilizar aceite de canola el valor es menor que cuando se utiliza aceite de girasol, pero ambos tratamientos registraron menor índice aterogénico, comparados con el grupo control. Ulbritch y Southgate (1991), comentan que existen ácidos grasos contraindicados en la salud humana, como son C12, C14 y C16. En este estudio, se nota que al disminuir la cantidad de dichos ácidos grasos en consecuencia el índice aterogénico disminuye, y por ende el riesgo de padecer alguna enfermedad vascular disminuye, al consumir leche producida por vacas con una dieta adicionada con aceite de canola y aceite de girasol (Gangliostro, 2013).

Bajo las condiciones de desarrollo del presente experimento, es importante tener en cuenta que los resultados pueden depender de diversos factores, como la composición específica de la dieta, la genética de las vacas, y las condiciones del entorno. Además, la duración del estudio y la adaptación de los animales a la nueva dieta también son factores relevantes.

Los resultados de estudios como este son valiosos para la toma de decisiones en la gestión nutricional de los animales. Se genera información sobre la eficacia de ciertos suplementos y su capacidad para influir en diversos aspectos de la producción ganadera.

Este estudio reveló efectos positivos de la adición de ácidos grasos poliinsaturados al 2% en la dieta de las vacas en pastoreo, específicamente en la modulación de ciertos ácidos grasos presentes en la leche; como son los ácidos grasos: láurico, mirístico y palmítico; estos 3 ácidos grasos son importantes para calcular el índice aterogénico de la leche producida y saber si el alimento es benéfico o no.

Actualmente la población humana, tiende a padecer ciertas enfermedades metabólicas dentro de ellas encontramos las enfermedades vasculares, específicamente aterosclerosis. La aterosclerosis es una enfermedad metabólica que afecta a los vasos sanguíneos y puede tener consecuencias graves, como infartos cardíacos o cerebrales, lo que puede llevar a la muerte.

Existen varios factores que contribuyen al desarrollo de la aterosclerosis, incluyendo la hipertensión arterial, el tabaquismo, la diabetes, la obesidad y los niveles elevados de colesterol en sangre. La conciencia de los factores de riesgo, la detección temprana de la enfermedad y la adopción de hábitos de vida saludables son fundamentales para reducir la incidencia y la gravedad de la aterosclerosis.

La adición de ácidos grasos poliinsaturados (como el aceite de canola y el aceite de girasol) a la dieta de vacas de doble propósito tiene un impacto positivo en la composición de la leche, específicamente en la reducción de ciertos ácidos grasos como el láurico, mirístico y palmítico. Estos ácidos grasos específicos, al ser reducidos en la leche, pueden influir positivamente en el índice aterogénico de la leche, lo que podría sugerir beneficios para la salud cardiovascular asociados con el consumo de productos lácteos derivados de estas vacas. Es importante destacar que este tipo de estudios contribuyen al conocimiento sobre cómo la dieta de los animales puede afectar la composición nutricional de los productos derivados de ellos, en este caso, la leche. Sin embargo, para obtener conclusiones sólidas sobre los beneficios en la salud humana, sería necesario realizar más investigaciones y considerar la totalidad de la dieta y los hábitos alimenticios. Además, las implicaciones para la salud humana pueden variar según la cantidad de productos lácteos consumidos y la dieta general de una persona.

## **Conclusiones**

La adición de ácidos grasos poliinsaturados como lo son el aceite de canola y el aceite de girasol en la dieta de vacas en pastoreo a un nivel de inclusión del 2% no mostraron cambios en el consumo de materia seca, producción de leche, características fisicoquímicas de la leche, fermentación ruminal, digestibilidad de la dieta y producción de metano.

Dentro de este trabajo se encontró que el adicionar ácidos grasos poliinsaturados en una inclusión del 2%, afecta positivamente la disminución de ciertos ácidos grasos presentes en la leche que dichas vacas producen, como son: ácido graso láurico, ácido graso mirístico y ácido graso palmítico, estos 3 ácidos grasos son importantes para calcular el índice aterogénico de la leche producida y saber si es un alimento benéfico o no. Actualmente la población humana, tiende a padecer ciertas enfermedades metabólicas dentro de ellas encontramos las enfermedades vasculares, específicamente aterosclerosis, que es una enfermedad que puede llegar a causar infartos y por ende la muerte.

En resumen, la adición de ácidos grasos poliinsaturados a la dieta de vacas de doble propósito parece tener beneficios en la composición de la leche, pero se necesita más investigación para comprender completamente, cómo estos cambios pueden influir en la salud humana y si representan una estrategia nutricional significativa.

## **Limitaciones y perspectivas**

De acuerdo con los resultados obtenidos en dicho escrito, sin duda alguna empezaría por utilizar un diseño estadístico más amigable como lo es el cuadrado latino 3x3, incluso se recomienda agregar un tratamiento extra. Lo más factible es ocupar un porcentaje de inclusión de 5% o más, para valorar los efectos favorables y corroborar los efectos de los aceites que se ocuparon. Sobre los ácidos grasos láurico, mirístico y palmítico, presentes en la grasa de la leche y que a su vez nos indican el índice aterogénico. Es necesario organizar mejor el estudio de campo, para contar con más personal para apoyo en muestreos.

El tiempo de duración de cada periodo es más factible en periodos de 25 días, los resultados muy posiblemente hubieran sido más favorables. Sin embargo, la limitante principal es el recurso económico, ya que alargar los periodos, el costo de los insumos aumenta.

## Bibliografía

- AOAC, C. P. (1990). Official Methods of Analysis of AOAC International. *11 edition. USA: AOAC.*
- Arias islas, E., Morales Barrera, J., Prado Rebolledo, O., & Garcia Casillas, A. (2020). Metabolismo en rumiantes y su asociación con analitos bioquímicos. *Abanico Veterinario*, 1-24.
- Beauchemin , K., & McGinn , S. (2006). Methane emissions from beef cattle: Effect of fumaric acid, essential oil and canola oil. *Journal of Animal Science*, 1489-1496.
- Beauchemin KA, K. (2008). Nutritional management for enteric methane abatement: A review. *Nutritional management for enteric methane abatement*, 21-27.
- Beauchemin, K. A., Ungerfel, E. M., Eckard, R. J., & Wang, M. (2020). Review: Fifty years of research on rumen methanogenesis: lessons learned and future challenges for mitigation. *Animal*, s2-s16.
- Beauchemin, K., & McGinn , S. (2006). Methane emissions from beff cattle: Effect of fumaric acid, essential oil and canola oil. *Journal of Animal Science*, 1489-1496.
- Blanco, M. R. (1999). Bacterias ruminales. *Sitio argentina de producción animal.*
- Brask, M., Lund, P., Weisbjerg, M., Hellwing, A., Poulsen, M., Larsen , M., & Hvelplund, T. (2013). Methane production and digestion of different physical forms of rapeseed as fat supplements in dairy cows. *Dairy Science*, 2356-2365.
- Carmona, J., Bolivar, D., & Giraldo, L. (2005). El gas metano en la producción ganadera y alternativas para emdir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 49-63.
- Clemmons, B., Voy , B., & Mayer, P. (2018). Altering the Gut Microbiome Manipulation. *Microbial Ecology*, 523-536.
- Cordoba, A., Garza, R., Manroy., J., Amuyo, D., & Treviño, R. (1977). Manejo y aprovechamiento de plantas forrajeras tropicales para la producción de carne. *XIV Reunion Anual. INIP Sección Trópical.*
- Corona, L., Mendoza, G. D., Castrejón, F. A., Crosbib, M. M., & Coboslo, M. A. (1999). Evaluation of two yeast cultures (*Saccharomyces cerevisiae*) on ruminal fermentation and digestion in sheep fed a corn stover diet. *ELSEVIER Small Rumiant Research*, 209-214.
- Creevey, C. J., Kelly, W. J., Henderson, G., & Leahy, S. C. (2014). Determining the culturability of the rumen bacterial microbiome. *Microbial Biotechnology*, 467-479.
- Dohme, F., Machmüller, A., & Kreuzer, M. (2000). ComParative efficiency of various fats rich in medium-chain fatty acids to suppress ruminal methanogenesis as measured with RUSITEC. *Animal Science*, 473-482.
- Eckard, R., Granier, C., & De Klein, C. (2010). Options for abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production a review. *Dairy Science*, 71-77.
- Enríquez Quiroz, J., Esqueda Esquivel, V., & Martínez Mendez, D. (2021). Rehabilitacion de praderas degradadas en el trópico de México. *Ciencias Pecuarias*, 243-260.

- FAO, O. d. (2022). *Organizacion de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura*. FAO. Obtenido de Evaluacion de las emisiones de gases de efecto de invernadero y su potencial de mitigación: [Http://www.fao.org/gleam/results/es](http://www.fao.org/gleam/results/es)
- Fenchel, T., King, G. M., & Blackburn, T. H. (2012). Chapter 1 - Bacterial Metabolism. En G. K. T. Fenchel, *Bacterial Biogeochemistry (Third Edition)* (págs. 1-34). Academic Press. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415836-8.00001-3>.
- Gangliostro, G. A. (27 de 12 de 2013). *Obtención de lácteos de bajo potencial aterogénico naturalmente enriquecidos en ácido linoleico conjugado*. Obtenido de Ergomix: <https://www.engormix.com/ganaderia-leche/articulos/obtencion-lacteos-bajo-potencial-t30604.htm>
- Garnsworthy, P., Craigon, J., Hernandez-Medrano, J., & Saunders, N. (2012). On-farm methane measurements during milking correlate with total methane production by individual dairy cows. *Journal Dairy Science*, 3166-3180.
- Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., . . . Tempio, G. (2013). *Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Gómez-Cortés, P., De la fuente, M., Toral, P., Frutos, P., Juárez, M., & Hervás, G. (2011). Effects of different forage:concentrate ratios in dairy ewe diets supplemented with sunflower oil on animal performance and milk fatty acid profile. *journal Dairy Science*, 4578-4588.
- Henry Osorio, J., & Vinazco, J. (2010). Bovine lipid metabolism and relationship whit diet, corporal condition, productive state and associated pathologies. *Research Gate*, 56-66.
- Hristov, A. N., Oh, J., Firkins, J. L., Dijkstra, J., Kebreab, E., Waghorm, G., . . . Tricarico, J. M. (2013). SPECIAL TOPICS — Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. *Journal of Animal Science*, 5045-5069.
- Hungate, R. (1966). The rumen and its microbes. *New York: Academic*.
- IPCC, I. P. (2015). Climate change 2014 mitigation of climate change. *Inglaterra: Cambridge University Press*.
- Johnson, K., & Johnson, D. (1995). Methane emissions from cattle. *Animal Science*, 2483-2492.
- Lyu, Z., Shao, N., Akinyemi, T., & Withman, W. B. (2018). Metanogénesis. *Current Biology*, R727-R732.
- Martínez Marín, A. L., Pérez Hernández, M., Pérez Alba, L., Gómez Castro, G., & Carrión Pardo, D. (2012). Efecto de las fuentes de grasa sobre la digestión de la fibra en los rumiantes. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 21-28.
- Mata E Silva, B. C., Lopes, F. C. F., Pereira, L. G. R., Tomich, T. R., Morenz, M. J. F., Martins, C. E., Gomide, C. A. M., Paciullo, D. S. C., Maurício, R. M., & Chaves, A. V. (2017). Effect of sunflower oil supplementation on methane emissions of dairy cows grazing *Urochloa brizantha* cv. Marandu. *Animal Production Science*, 57(7), 1431.
- Matthews, C., Crispie, F., Lewis, E., Reid, M., O'Toole, P. W., & Cotter, P. D. (2019). The rumen microbiome: a crucial consideration when optimising milk and meat production and nitrogen utilisation efficiency. *GUT Microbes*, 115-132.

- McCullough, H. (1967). The determination of ammonia in whole blood by direct colorimetric method. *Clin Chem*, 297-304.
- McGinn, S. M., Beauchemin, K. A., Coates, T., & Colombatto, D. (2004). Methane emissions from beef cattle: Effects of monensin, sunflower oil, enzymes, yeast, and fumaric acid. *Journal of Animal Science*, 3346-3356.
- Mexico, G. d. (19 de abril de 2021). *La ganadería, símbolo de fortaleza del campo mexicano*. Obtenido de Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera: <https://www.gob.mx/siap/articulos/la-ganaderia-simbolo-de-fortaleza-del-campo-mexicano>
- Mitsumori, M., Shinkai, T., Takenaka, A., Enishi, O., Higuchi, K., Kobayashi, Y., . . . McSweeney, C. S. (2012). Responses in digestion, rumen fermentation and microbial populations to inhibition of methane formation by a haogenated methane analogue. *British Journal of Nutrition*, 482-491.
- Moss, A. R., Jovany, J.-P., & Newbold, J. (2000). Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Annales De Zootechnie*, 231-253.
- Muñoz, C., Letelier, P., Ungerfeld, E., Morales, J., Hube, S., & Pérez prieto, L. (2016). Effects of pregrazing herbage mass in late spring on enteric methane emissions, dry matter intake, and milk production of dairy cows. *Dairy Science*, 7945-7955.
- NASEM, N. A. (2016). Nutrient Requirements of Beef Cattle. *Washington, DC: The National Academy Press*.
- Odongo, N. E., Or-Rashid, M. M., Kebreab, E., France, J., & McBride, B. (2007). Effect of Supplementing Myristic Acid in Dairy Cow Rations on Ruminant Methanogenesis and Fatty Acid Profile in Milk. *Journal of Dairy Science*, 1851-1858.
- Pereira, A. M., Nunes, M., Dapkevicius, E., & Borba, A. E. (2022). Alternative pathways for hydrogen sink originated from the ruminal fermentation of carbohydrates: Which microorganisms are involved in lowering methane emission?. *Animal Microbiome*.
- Pinares-Patiño, C. S., Franco, F. E., Molano, G., Kjestrup, H., Sandoval, E., MacLean, S., . . . Laubach, J. (2016). Feed intake and methane emissions from cattle grazing pasture sprayed with canola oil. *Livestock Science*, 7-12.
- Prieto-Manrique, E. P., Vargas-Sánchez, J. M., Angulo-Arizala, J. P., & Mahecha-Ledesma, L. P. (2016). Supplementation with sunflower oil on milk fatty acids in a tropical dairy farm. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 297-309.
- Puniya, A. S. (2015). Rumen Microbiology: From Evolution to Revolution. *Springer, New Delhi*.
- Rabiee AR, B. K. (2012). Effect of fat additions to diets of dairy cattle on milk production and components: a meta-analysis and meta-regression. *Journal Dairy Science*, 3225-3247.
- S. Ollier, C. L. (2009). Whole intact rapeseeds or sunflower oil in high-forage or high-concentrate diets affects milk yield, milk composition, and mammary gene expression profile in goats. *Journal of Dairy Science*, 5544-5560.
- SAGARPA, S. R. (2018). *SAGARPA, Planeación Agrícola Nacional 2017-2030*. Obtenido de Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural: <http://sagarpa.gob.mx>

- Sanders, W. L., & Gaynor, P. J. (1987). Analysis of Switchback Data using Statistical Analysis System, Inc. Software. *Journal of Dairy Science*, 2186-2191.
- Santiago Ortega, M. A. (24 de octubre de 2017). *Ganadería Tropical y las Emisiones de Metano*. Obtenido de El Economista.com.mx: <https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Ganaderia-tropical-y-las-emisiones-de-metano-20171024-0116.html>
- Schettino, B., Pérez, J., Gutiérrez, R., Vega y León, S., Faure, R., & Escobar, A. (2011). Analysis of robustness in the determination of fatty acids by gas chromatography on goat milk. *Revista de Salud Animal*, 83-89.
- SIAP, S. (1 de febrero de 2022). *Gobierno de México*. Obtenido de Producción Ganadera: <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-pecuaria>
- Thompson, L. R., & Rowntree, J. E. (2020). Invited Review: Methane sources, quantification and mitigation in grazing beef systems. *ELSEVIER, Ciencia Animal Aplicada*, 556-573.
- Ungerfeld, E. (2020). Metabolic Hydrogen Flows in Rumen Fermentation: Principles and Possibilities of Interventions. *Frontiers in Microbiology*, 243-260.
- Ushida, K., Miyazaki, A., & Kawashima, R. (1986). Effect of defaunation on ruminal gas and VFA production in vitro. *Zootech Science*, 71-77.
- Van Vugt, S. J., Waghorn, G. C., Clark, D. A., & Woodward, S. L. (2005). Impact of monensin on methane production and performance of cows fed forage diets. *New Zealand Society of Animal Production*, 362-366.
- Vargas, J. E., Andrés, S., López-Ferreras, L., Snelling, T. J., Yáñez-Ruiz, D. R., García-Estrada, C., & López, S. (2020). Dietary supplemental plant oils reduce methanogenesis from anaerobic microbial fermentation in the rumen. *Nature research: Scientific reports*.
- Velez-Terranova, M., Campos Gaona, R., & Sanchez-Guerrero, H. (2014). Uso de metabolitos secundarios de las plantas para reducir la Metanogenesis Ruminal. *Tropical and subtropical Agroecosystems*, 489-499.
- Wallace, R. J., Timothy, J. S., McCartney, C. A., Tapio, I., & Strozzi, F. (2017). Application of meta-omics techniques to understand greenhouse gas emissions originating from ruminal metabolism. *Genetics Selection Evolution*, 1-11.
- Weimer, P. J. (1998). Manipulating ruminal fermentation: a microbial ecological perspective. *Journal of Animal Science*, 3114-3122.
- Yan, T., Mayne, C. S., & Porter, M. G. (2006). Effects of dietary and animal factors on methane production in dairy cows offered grass silage-based diets. *International Congress Series*, 123-126.
- Zapata-Salas, R., & Polanco-Echeverry, D. (2010). Estructuras de los protozoos ciliados ruminales relevantes para la caracterización morfológica. *Hechos microbiol*, 67-69.
- Zened, A., Enjalbert, F., Nicot, M. C., & Troegeler-Meynadier, A. (2013). Starch plus sunflower oil addition to the diet of dry dairy cows results in a trans-11 to trans-10 shift of biohydrogenation. *Journal of Dairy Science*, 451-459.