








Efecto del rizoma de *Zingiber officinale* sobre la fermentación ruminal y producción de metano *in vitro*

Effect of *Zingiber officinale* on ruminal fermentation and production of methane *in vitro*

Miguel Gutiérrez-Fidencio¹ ,
María Magdalena Crosby-
Galván¹ ,
J. Efrén Ramírez-Bribiesca¹ ,
Alfredo Sánchez-Villarreal² ,
Martha Hernández-Rodríguez³ ,
Itzel López-Rosas⁴ ,
Mónica Ramírez-Mella^{4*} 

¹ Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Posgrado en Recursos Genéticos y Productividad - Ganadería. Carretera México-Texcoco Km. 36.5, CP. 56230. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.

² Colegio de Postgraduados Campus Campeche, Posgrado en Bioprospección y Sustentabilidad Agrícola en el Trópico. Carretera Haltunchén-Edzná km 17.5, CP. 24450. Champotón, Campeche. México.

³ Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Posgrado en Recursos Genéticos y Productividad - Genética. Carretera México-Texcoco Km. 36.5, CP. 56230. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.

⁴ CONACYT-Colegio de Postgraduados Campus Campeche, Posgrado en Bioprospección y Sustentabilidad Agrícola en el Trópico. Carretera Haltunchén-Edzná km 17.5, CP. 24450. Champotón, Campeche. México.

* Autor de correspondencia:
monicara@colpos.mx

Artículo científico

Recibido: 03 de enero 2023

Aceptado: 06 de marzo 2023

Como citar: Gutiérrez-Fidencio M, Crosby-Galván MM, Ramírez-Bribiesca JE, Sánchez-Villarreal A, Hernández-Rodríguez M, López-Rosas I, Ramírez-Mella M (2023) Efecto del rizoma de *Zingiber officinale* sobre la fermentación ruminal y producción de metano *in vitro*. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 10(1): e3570. DOI: 10.19136/era.a10n1.3570

RESUMEN. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto del rizoma seco de jengibre (RSJ) sobre la fermentación ruminal *in vitro*, producción de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂). Los tratamientos fueron dietas con 0, 1, 3, 5, 10, 20 y 40% de RSJ incubados durante 72 horas en fermentación *in vitro* con líquido ruminal obtenido de dos novillos machos. Se determinó la degradabilidad de materia seca (DMS), producción de gas (PG), CH₄ y CO₂, volumen máximo de gas (Vmax), fase de retardo (L), tasa de PG (S), energía metabolizable (EM) y factor de partición (FP) en un diseño experimental en bloques completos al azar, con tres bloques y nueve repeticiones. El Vmax y EM disminuyeron significativamente a partir de 10% de RSJ (P ≤ 0.05), mientras que el FP aumentó con 20 y 40%. La PG acumulado disminuyó a partir de las 18 h de incubación con 10, 20 y 40% de RSJ (P ≤ 0.05). La DMS disminuyó a partir de las 24 h con 40% de RSJ (P ≤ 0.05). La producción y concentración de CH₄ disminuyeron a partir de 5% de RSJ en la dieta (P ≤ 0.05). El 5% de RSJ en la dieta disminuye la producción y concentración de CH₄ sin afectar de forma negativa otras variables de la fermentación ruminal.

Palabras clave: Degradabilidad ruminal, ganadería, gases de efecto invernadero, jengibre, rumiantes.

ABSTRACT. The aim of this study was to evaluate the effect of dried ginger rhizome (RSJ) on *in vitro* ruminal fermentation, methane (CH₄) and carbon dioxide (CO₂) production. The treatments were diets with 0, 1, 3, 5, 10, 20 and 40% RSJ incubated for 72 h in an *in vitro* fermentation with ruminal fluid collected from two male steers. Dry matter degradability (DMS), gas production (PG), CH₄ and CO₂, maximum gas volume (Vmax), lag phase (L), fermentation rate (S), metabolizable energy (ME) and partition factor (FP) were evaluated in an experiment with a randomized block experimental design, with three blocks and nine repetitions. Vmax and EM significantly decreased with 10% or higher RSJ (P ≤ 0.05), while FP increased at 20 and 40%. The accumulated PG decreased at 18 h of incubation and onwards with 10, 20 and 40% RSJ (P ≤ 0.05). The DMS decreased after 24 h with 40% RSJ (P ≤ 0.05). CH₄ production and concentration decreased with 5% RSJ in the diet (P ≤ 0.05), without further reduction at higher concentrations of RSJ. Inclusion of 5% RSJ in the diet decreases CH₄ production and concentration without negatively affecting other ruminal fermentation variables.

Key words: Ruminal degradability, livestock, greenhouse gases, ginger, ruminants.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el ganado bovino contribuye con aproximadamente el 62% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del sector ganadero, correspondientes a 5 gigatoneladas de CO₂^{eq}. Estas emisiones tienen diferentes orígenes, siendo la fermentación entérica la que contribuye con un 44%, principalmente en forma de metano (CH₄) (FAO 2022). Además de su impacto en el calentamiento global, la producción de CH₄ ruminal disminuye la eficiencia productiva de los rumiantes domésticos al invertir entre 2-15% de la energía total consumida para la síntesis de este gas (Bodas et al. 2008). Por ello, de acuerdo con Johnson y Johnson (1995), el desarrollo de estrategias para disminuir las emisiones de CH₄ en el ganado bovino no sólo reducirán su impacto sobre el ambiente, sino también se mejorará la eficiencia alimenticia y, por ende, la productividad de los sistemas de producción.

Muchas de las estrategias para disminuir las emisiones de CH₄ en los rumiantes domésticos se centran en la modificación del ambiente ruminal a través de la alimentación, entre las cuales se incluye el uso de ionóforos, suplementación energética o proteica en dietas de baja calidad nutricional, leguminosas forrajeras con alto contenido de taninos condensados, compuestos químicos como bromoclorometano y nitrocompuestos, lípidos, metabolitos secundarios como taninos, saponinas y aceites esenciales, probióticos, entre otros (Patra 2012). Pero algunas de estas estrategias son costosas, tóxicas para los animales y con efecto temporal en la reducción de CH₄ (Moss et al. 2000, Patra 2012). Ante ello, es indispensable buscar alternativas que disminuyan la metanogénesis ruminal, y que a su vez, no afecten el bienestar de los animales, ni representen riesgo a la salud de los consumidores ante la posibilidad de residuos en la carne o leche. Bajo este contexto, una alternativa es el uso de aditivos de origen vegetal como el jengibre (*Zingiber officinale* Roscoe), el cual es fuente de diferentes metabolitos secundarios, como compuestos fenólicos y terpenos (Mao et al. 2019), y de micro RNAs (Xing et al. 2022), mismos que han mostrado capacidad

de modular las poblaciones de la microbiota intestinal (Teng et al. 2018, Wang et al. 2021).

El jengibre tiene un uso ancestral como planta medicinal, al que se le atribuyen actividades biológicas como anticancerígena, antioxidante, antiinflamatoria, antidiabética, auxiliar para contrarrestar efectos de náuseas derivados de tratamientos de quimioterapia, protectora cardiovascular y antimicrobiana, tanto en humanos como en animales de laboratorio (Mao et al. 2019). A la fecha existen pocos estudios sobre el uso del jengibre en la alimentación de animales destinados para consumo humano. En aves de corral, se ha demostrado su efecto antimicrobiano al disminuir las poblaciones de bacterias patógenas como *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Shigella*, *Staphylococcus* spp. en el contenido ileocecal de gallinas ponedoras, pollos de engorda y codornices (Dieumou et al. 2009, Shanoon et al. 2012, Salmanzadeh 2015). En rumiantes, el jengibre se ha utilizado como modulador de la fermentación ruminal. Al respecto, algunos estudios *in vitro* han demostrado que el jengibre disminuye la producción ruminal de CH₄, empleado como extractos etanólicos, metanólicos y acuosos (Patra et al. 2010), aceite esencial (Altınçekiç et al. 2021, Temmar et al. 2021) y harina (Soroor y Moeini 2015, Kurniawati et al. 2018, Khejornsart et al. 2021). Además, se han reportado cambios en diversas poblaciones de microorganismos ruminales, tales como un aumento de protozoarios entodiniomorfos y holotricos (Patra et al. 2010) y de poblaciones bacterianas de *Fibrobacter succinogenes*, *Ruminococcus flavefaciens* y *Ruminococcus albus*, así como disminución de la población de ciliados asociados a metanógenos (Kim et al. 2012). Los estudios mencionados ponen en evidencia el potencial antimicrobiano y modulador de la fermentación ruminal del jengibre. Sin embargo, aún son insuficientes los estudios respecto al uso del jengibre y su capacidad para modular las características de la fermentación ruminal. Por lo anterior, los objetivos de este estudio fueron evaluar *in vitro* el efecto del rizoma seco de jengibre (RSJ) sobre la fermentación ruminal, producción de CH₄, y determinar la cantidad óptima de RSJ en la dieta capaz de disminuir la producción de CH₄.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención del RSJ

El rizoma fresco de jengibre fue adquirido en un mercado local del municipio de Texcoco, Estado de México, México, en septiembre de 2020 y su procesamiento fue realizado en el Laboratorio de Nutrición Animal del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Fue lavado con agua hasta eliminar cualquier suciedad visible y cortado en láminas de entre 2 y 3 mm de grosor. Las láminas de jengibre se deshidrataron en estufa de aire forzado a 60 °C durante 4 días y posteriormente se trituraron en un molino eléctrico con malla metálica de acero inoxidable de 1 mm.

Tratamientos

Se evaluaron siete tratamientos que consistieron en dietas adicionadas con 0, 1, 3, 5, 10, 20 y 40% de RSJ en un experimento *in vitro*. Los niveles de inclusión fueron seleccionados ante la escasa información disponible en rumiantes. Las dietas fueron elaboradas cubriendo los requerimientos nutricionales establecidos por el NRC (2000) para ganado bovino de engorda en etapa de finalización. Los ingredientes y la composición química de cada una de las dietas evaluadas están mostrados en la Tabla 1.

Análisis químicos

Los análisis químicos de las dietas fueron realizados en el Laboratorio de Nutrición Animal del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, en Texcoco, Estado de México, México. Cada una de las dietas fue analizada para determinar el contenido de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) de acuerdo a lo descrito por Van-Soest *et al.* (1963), así como el contenido de materia seca (MS), proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE) y cenizas por los métodos establecidos por la AOAC (2006).

Fermentación *in vitro*

Las fermentaciones *in vitro* se realizaron en el laboratorio de Fisiología Vegetal del Colegio de Postgraduados Campus Campeche, en Champotón, Campeche, México. El líquido ruminal (LR) fue

obtenido de dos bovinos machos, no castrados, de cruzas de razas Sardo Negro y Pardo Suizo, con peso aproximado de 450 kg, de 2.5 a 3 años de edad, manejados de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999 (SAGARPA 2001) y con autorización del Comité de Bienestar Animal del Colegio de Postgraduados (COBIAN/001/21). Los animales fueron alojados en corrales individuales de 30 m², alimentados con paja de pasto y alimento concentrado comercial, y con acceso a agua limpia *ad libitum*. La extracción de LR fue realizada con una sonda orogástrica y máquina de bombeo manual (Drench-Mate[®]). El LR fue colocado en termos precalentados a 39 °C e inmediatamente trasladado al laboratorio. Posteriormente el LR fue filtrado a través de cuatro capas de tela tipo manta de cielo. Previo a la colecta del LR, el buffer fue preparado e incubado en baño María a 39 °C con flujo constante de CO₂ (Menke *et al.* 1979). El inóculo fue preparado con el LR mezclado con el buffer a una relación 1:3, homogeneizado inmediatamente y mantenido bajo flujo constante de CO₂. Una vez preparado, se depositaron 50 mL del inóculo en viales de vidrio de 120 mL de capacidad, que contenían 0.5 g de cada una de las dietas, los cuales fueron sellados herméticamente con tapón de goma sólida y arillo de aluminio, y colocados en una estufa a 39 °C. Se realizaron tres fermentaciones con tres repeticiones por tratamiento en cada una.

Medición de CH₄ y CO₂

El CH₄ y CO₂ fueron medidos utilizando hidróxido de sodio (NaOH) (Fievez *et al.* 2005) con las siguientes modificaciones: el gas producido en un set de viales incubados como se mencionó previamente, fue colectado utilizando una jeringa de vidrio de 50 mL y transferido a viales de 120 mL que contenían 50 mL de NaOH 1N (sellados herméticamente con tapón de goma y arillo de aluminio). El NaOH y el gas fueron mezclados manualmente y el gas remanente fue colectado con la misma jeringa de vidrio. De acuerdo con Fievez *et al.* (2005), el CO₂ reacciona con la solución acuosa de NaOH para formar carbonato de sodio (Na₂CO₃), mientras que el gas remanente es considerado como CH₄.

Tabla 1. Ingredientes y composición química de las dietas con rizoma seco de jengibre (RSJ).

Ingredientes ¹	RSJ (%)						
	0	1	3	5	10	20	40
Maíz	56	56	55	54	48	37.5	18.5
Pasta de soya	15	14	14.5	16	18	18.5	19
Rastrojo de maíz	15	15	15	15	15	15	15
Salvado de trigo	9	9	7.5	5	4	4	2.5
Melaza	3	3	3	3	3	3	3
Premezcla mineral y vitaminas ²	2	2	2	2	2	2	2
RSJ	0	1	3	5	10	20	40
Composición química ¹							
MS	90.2	90.3	90.5	90.6	90.8	91.6	92.6
PC	12.2	12.4	12.7	12.2	13.6	14.2	13.4
FDN	27.7	28.1	27.2	25.6	25.9	29.2	31.0
FDA	10.2	10.3	10.8	10.6	11.1	12.8	14.8
EE	2.7	2.6	2.5	2.5	2.9	3.2	3.2
Cenizas	6.4	6.5	6.1	5.9	6.3	7.9	9.8

¹Valores expresados en porcentaje. ²Premezcla mineral MNA MR, Corral Elite 250-F (Fertilización) contiene: fósforo 1.9%, calcio 21.0%, sodio 10%, magnesio 3.4%, vitaminas A y E, y aditivos. MS: materia seca. PC: proteína cruda. FDN: fibra detergente neutro. FDA: fibra detergente ácido. EE: extracto etéreo.

Producción de gas

La producción de gas (PG) fue medida con un manómetro usando la técnica de transducción de presión de acuerdo a Theodorou *et al.* (1994). La PG de cada vial fue registrada a las 3, 6, 9, 12, 18, 24, 32, 48 y 72 h de incubación. Después de cada medición de gas, la presión de cada vial fue igualada a cero. La PG acumulado se obtuvo sumando la PG obtenida de cada una de las horas previas.

Degradabilidad de la materia seca

La degradabilidad de la materia seca (DMS) fue evaluada a las 6, 12, 24, 48 y 72 h de incubación. Al final de cada tiempo, los viales fueron colocados en agua con hielo durante al menos 2 h para detener la actividad microbiana. Posteriormente, el contenido de cada vial fue filtrado. El material filtrado fue colocado en una estufa a 80 °C durante 24 h.

Cálculos

El volumen máximo de gas (Vmax, mL g MS⁻¹), la tasa de producción de gas (S, h⁻¹) y la fase de retardo (L, h) fueron determinados con el procedimiento NLIN del programa estadístico SAS (2002), utilizando el modelo mencionado por France *et al.* (2000):

$$y = bx \left[1 - e^{-c(t-L)} \right]$$

Donde: y = Volumen de gas (mL) en el tiempo; b = Volumen de gas (mL) de la fermentación del sustrato (mL) (asíntota); c = Tasa fraccionaria de producción de gas (h); t = Tiempo (h); L = Retardo antes de iniciar la PG.

La energía metabolizable (EM), expresada en MJ, fue calculada de acuerdo a Menke *et al.* (1979) con la siguiente fórmula:

$$EM(MJ) = 2.2 + (0.136 * PG) + (0.0057 * PC)$$

Donde: PG = Producción de gas a las 24 h de incubación (mL 200 mg MS⁻¹); PC = Proteína cruda (g kg MS⁻¹).

La conversión de la EM en MJ a Mcal se realizó con la siguiente fórmula:

$$EM(Mcal) = \frac{EM(MJ)}{4.1868}$$

El factor de partición (FP) a las 24 h de incubación se calculó según Blümmel *et al.* (1997), de la siguiente manera:

$$FP_{24} = \frac{DMS_{24}}{PG_{24}}$$

Donde: FP24 = Eficiencia de fermentación a las 24 h de incubación; DMS24 = DMS (mg g MS⁻¹) a las 24 h de incubación; PG24 = PG (mL g MS⁻¹) a las 24 h de incubación.

Análisis estadístico

Los resultados se analizaron mediante un diseño experimental de bloques completos al azar con el paquete estadístico SAS (2002) y comparación de medias de Tukey con ($P \leq 0.05$). El modelo estadístico utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

Donde: Y_{ij} = Respuesta observada con el tratamiento i en el bloque j ; μ = Media general; T_i = Efecto del tratamiento i ; $i = 1, 2, \dots, t$; β_j = Efecto de bloque j ; $j = 1, 2, \dots, r$; ϵ_{ij} = Error experimental.

RESULTADOS

Cinética de producción de gas, energía metabolizable y factor de partición

En este estudio la cinética de PG, EM y FP fueron afectados por el RSJ (Tabla 2). El volumen máximo de gas (V_{max}) fue disminuido de manera significativa a partir de 10% de RSJ en la dieta, registrándose con 40% de RSJ el valor más bajo ($P \leq 0.05$). El V_{max} disminuyó desde 8.6 hasta 25.7% con 10 y 40% de RSJ, respectivamente, comparado con el tratamiento testigo. La tasa de PG (S) disminuyó con los tratamientos 3 y 10% de RSJ ($P \leq 0.05$), mientras que los tratamientos con 0, 1, 5, 20 y 40% de RSJ no mostraron diferencias estadísticas ($P > 0.05$) entre sí. La fase de retardo (L) no fue afectada en ninguno de los tratamientos evaluados ($P > 0.05$). La energía metabolizable (EM) mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) a partir de 10% de RSJ, disminuyendo a mayor cantidad de RSJ en la dieta. El factor de partición (FP) aumentó a mayor inclusión de RSJ en las dietas, aunque los tratamientos con 0, 1, 3, 5 y 10% de RSJ no mostraron diferencias significativas entre sí ($P > 0.05$); mientras que los tratamientos con 20 y 40% RSJ tuvieron mayor FP, siendo estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$) respecto al resto de los

tratamientos.

Producción de CH₄ y CO₂

La producción (mL g MS⁻¹) y concentración (%) de CH₄ y CO₂ fueron afectadas por la cantidad de RSJ incorporado en la dieta (Tabla 2). Tanto la producción como la concentración de CH₄ disminuyeron significativamente ($P \leq 0.05$) a partir de 5% de RSJ, sin diferencias con 10, 20 y 40% de RSJ ($P > 0.05$). La producción de CH₄ disminuyó entre 45.9 y 52.1% a partir de 5 y hasta 40% de RSJ, respectivamente, en comparación a la dieta testigo. Respecto a la concentración de CO₂, el comportamiento es inverso al de CH₄, aumentando significativamente a partir de 5% de RSJ ($P \leq 0.05$), sin diferencias con los tratamientos 10, 20 y 40% de RSJ ($P > 0.05$); sin embargo, la producción de CO₂ fue estadísticamente menor ($P \leq 0.05$) con 40% de RSJ (< 21.5%).

Producción de gas acumulado

La PG acumulado no se afectó en las primeras 6 horas de incubación con el RSJ en la dieta ($P > 0.05$); sin embargo, disminuyó significativamente con 20 y 40% de RSJ a partir de las 9 h, así como con 10% a partir de las 12 h y hasta las 72 h de incubación, respecto al tratamiento testigo ($P \leq 0.05$, Figura 1).

Degradabilidad de la materia seca

No hubo diferencias significativas durante las primeras 12 h de incubación ($P > 0.05$). Sin embargo, a partir de las 24 y hasta las 72 h de incubación, la DMS disminuyó significativamente (< 10.6%, $P \leq 0.05$) con 40% RSJ, en comparación al resto de los tratamientos evaluados (Figura 2).

DISCUSIÓN

Actualmente los estudios sobre el uso de jengibre en alimentación de rumiantes son escasos. Los pocos estudios disponibles muestran el potencial de esta planta como aditivo alimenticio capaz de disminuir la producción de CH₄ en el rumen (Kim *et al.* 2012, Soroor y Moeini 2015, Altınçekiç *et al.* 2021). En la presente investigación se obtuvieron resultados

Tabla 2. Efecto del rizoma seco de jengibre en la dieta sobre la cinética de producción de gas, energía metabolizable, factor de partición y producción de metano y dióxido de carbono.

Variable	RSJ, %							EEM
	0	1	3	5	10	20	40	
Vmax, mL g MS ⁻¹	186.6 ^a	185.8 ^a	187.1 ^a	182.9 ^a	170.6 ^b	159.5 ^b	138.7 ^c	3.200
S, h ⁻¹	0.057 ^a	0.055 ^a	0.050 ^b	0.053 ^{ab}	0.050 ^b	0.053 ^{ab}	0.053 ^{ab}	0.001
L, h	4.376 ^a	4.689 ^a	4.125 ^a	4.314 ^a	4.082 ^a	4.112 ^a	4.197 ^a	0.121
EM, Mcal kg MS ⁻¹	1.74 ^a	1.71 ^a	1.69 ^{ab}	1.69 ^{ab}	1.63 ^{bc}	1.59 ^c	1.46 ^d	0.020
FP	3.98 ^c	4.13 ^c	4.09 ^c	4.15 ^c	4.37 ^{bc}	4.67 ^{ab}	5.12 ^a	0.109
CH ₄ , mL g MS ⁻¹	46.2 ^a	50.8 ^a	43.7 ^a	25.9 ^b	23.7 ^b	24.2 ^b	22.1 ^b	3.093
CH ₄ , %	28.1 ^a	31.4 ^a	27.7 ^a	15.9 ^b	16.1 ^b	17.0 ^b	18.3 ^b	1.756
CO ₂ , mL g MS ⁻¹	115.3 ^{ab}	105.7 ^{bc}	109.8 ^{abc}	128.2 ^a	118.8 ^{ab}	111.2 ^{abc}	94.9 ^c	2.808
CO ₂ , %	71.9 ^b	68.5 ^b	72.2 ^b	84.0 ^a	83.9 ^a	82.9 ^a	81.7 ^a	1.756

RSJ: rizoma seco de jengibre. Medias con distinta literal (a,b,c) en cada fila son diferentes (P ≤ 0.05). CH₄ y CO₂ se calcularon a las 24 horas de incubación. Vmax: volumen máximo de gas; S: tasa de producción de gas; L: fase de retardo; EM: energía metabolizable; FP: factor de partición a las 24 h de incubación, mg MS degradada/mL gas; EEM: Error estándar de la media.

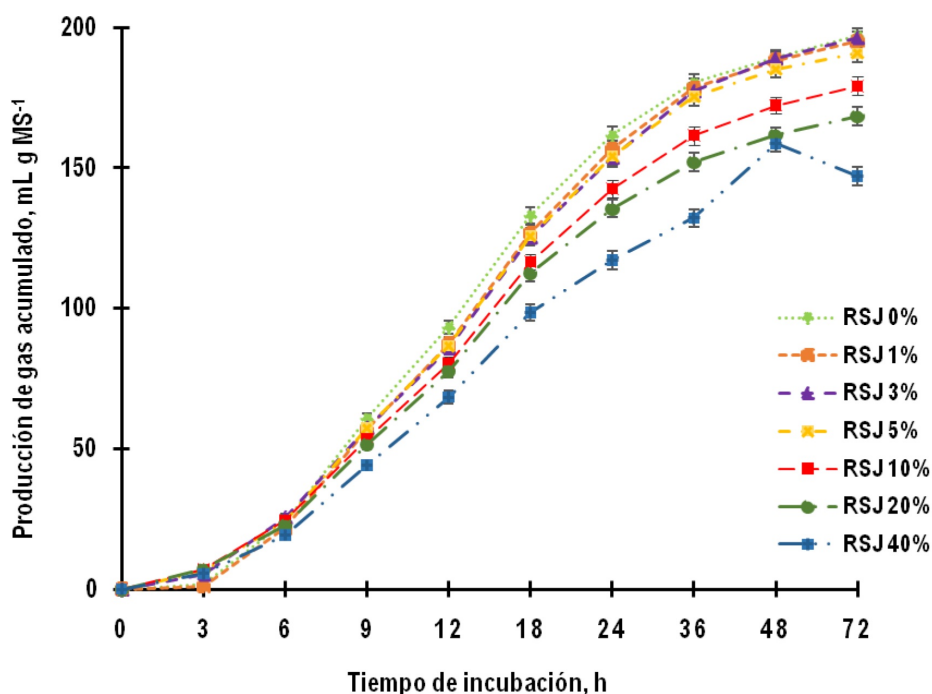


Figura 1. Efecto del rizoma seco de jengibre (RSJ) en la dieta sobre la producción de gas acumulado durante 72 h de incubación (P ≤ 0.05). Error estándar de la media (EEM) indicado por las barras; 0.88, 1.14, 1.79, 2.25, 2.85, 3.15, 3.25, 2.83, 3.31 a las 3, 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 y 72 h respectivamente. Barras no visibles caen dentro de los símbolos de cada serie.

que fortalecen la propuesta del uso de la raíz de jengibre con fines antimetanogénicos en bovinos. Adicionalmente, se pudo establecer el contenido mínimo de RSJ necesario para disminuir la producción de CH₄, sin afectar las variables de fermentación ruminal bajo condiciones *in vitro*.

Cinética de producción de gas, energía metabolizable y factor de partición

Pocos estudios *in vitro* acerca del uso de jengibre en rumiantes reportan datos de volumen máximo de gas (Vmax), tasa de producción de gas (S), fase de retardo (L), energía metabolizable (EM) y factor de partición (FP). Los datos obtenidos en este experi-

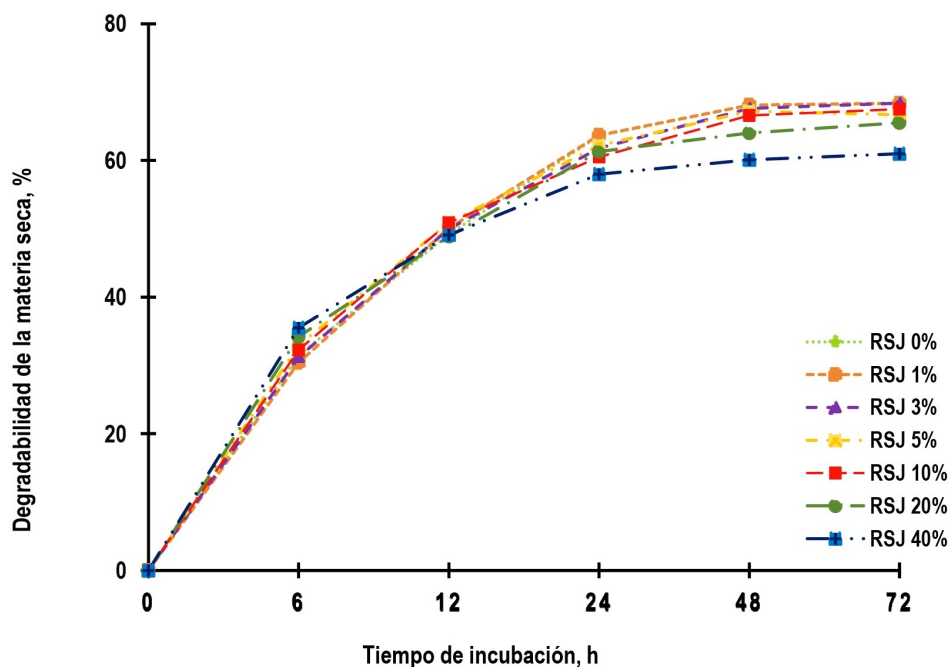


Figura 2. Efecto del rizoma seco de jengibre (RSJ) en la dieta sobre la degradabilidad de la materia seca (DMS) durante 72 h de incubación ($P \leq 0.05$). Error estándar de la media (EEM) indicado por barras: 0.48, 0.50, 0.45, 0.38, 0.46 a las 6, 12, 24, 48 y 72 horas respectivamente. Barras no visibles caen dentro de los símbolos de cada serie.

mento muestran que el RSJ en la dieta tiene efecto sobre estas variables de fermentación. Al respecto, la disminución en el V_{max} coincide con Khejornsart *et al.* (2021) quienes reportaron disminución de hasta 23.5% al agregar 7.5% de harina de jengibre en una dieta para ovinos alta en carbohidratos no estructurales altamente fermentables. Por el contrario, Soroor y Moeini (2015) reportaron que el V_{max} aumentó hasta 5.4% con la inclusión de 30% de jengibre seco en una dieta compuesta por heno de alfalfa y grano de cebada (70:30). En este experimento la disminución del V_{max} pudo deberse al efecto antimicrobiano de los metabolitos secundarios presentes en jengibre, los cuales han demostrado disminuir poblaciones microbianas importantes para la fermentación ruminal, como los protozoarios (Kim *et al.* 2012), que participan en el proceso de degradación de las partículas de alimento de la dieta (Williams *et al.* 2020). La disminución en la S indica disminución de la cantidad de gas por cada hora de incubación y, por consiguiente, la actividad fermentativa es menos efi-

ciente (Khejornsart *et al.* 2021); no obstante, los resultados de otras investigaciones no tienen la misma tendencia y difieren entre sí, ya que mientras Khejornsart *et al.* (2021) no observaron diferencias significativas, Soroor y Moeini (2015) reportaron una disminución significativa de la S de hasta 18.7%. La L no fue afectada en ninguno de los tratamientos evaluados, lo cual contrasta con lo reportado por Khejornsart *et al.* (2021), en cuyo estudio observaron un aumento significativo en la L respecto al tratamiento testigo. Nuestros resultados podrían indicar que el jengibre no inhibió drásticamente a los microorganismos ruminales durante las primeras horas de incubación, aunado a que en todos los tratamientos hubo presencia de nutrientes disponibles para iniciar el proceso de fermentación. En términos generales, el comportamiento de la cinética de producción de gas (V_{max} , L y S) depende de la disponibilidad de nutrientes en la dieta como carbohidratos solubles y proteína, principalmente (Khejornsart *et al.* 2021). En este sentido, la composición de las dietas pudo influir en la cinética

de PG, ya que tanto la dieta utilizada por Khejornsart *et al.* (2021) como la de este estudio fueron altas en grano (> 70%) con alrededor de 28 y 12% de FDN, respectivamente; mientras que la dieta de Soroor y Moeini (2015) fue alta en forraje (> 70%) con alrededor de 39% de FDN, por ende, con mayor cantidad de carbohidratos estructurales, los cuales no son de fácil fermentación.

La EM disminuyó 6.3, 8.6 y 16.1% en las dietas con 10, 20 y 40% de RSJ, respectivamente, en comparación con la dieta testigo. Estos resultados coinciden con los reportados por Altınçekiç *et al.* (2021), quienes demostraron disminución de EM de hasta 10.8% con el uso de aceite esencial de jengibre. Sin embargo, contrastan con los obtenidos por Mekuiko *et al.* (2018) al aumentar significativamente la EM hasta en 6.38% con la adición de 0.02% de aceite esencial de jengibre. Dado que la EM representa la energía disponible para el mantenimiento básico del animal, de la cual deriva la energía para sintetizar nuevas biomoléculas que se reflejan en la ganancia de peso y producción de leche (Mendoza-Martínez *et al.* 2008), una dieta con una EM alta podría considerarse como una dieta favorable para la producción animal. Por consiguiente, para los fines de esta investigación, las dietas con más de 10% de RSJ serían poco viables desde esta perspectiva. El FP aumentó a mayor inclusión de RSJ en las dietas, aunque los tratamientos con 0, 1, 3, 5 y 10% de RSJ no mostraron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre sí; mientras que los tratamientos con 20 y 40% RSJ tuvieron mayor FP, siendo estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$) respecto al resto de los tratamientos (Tabla 2). El FP es la relación entre el sustrato degradado por cada unidad de gas que se produce en la fermentación, un factor de partición elevado en los sustratos, se relaciona con mayor DMS, mayor eficiencia en la síntesis de la biomasa y proteína microbiana, pero está asociado a menor producción de CH₄ (Posada y Noguera 2005). Los resultados presentados en este estudio difieren de aquellos reportados por Soroor y Moeini (2015), quienes no encontraron diferencias significativas al adicionar 15 y 30% de jengibre seco en la dieta, al igual que Mekuiko *et al.* (2018), quienes no encontraron cam-

bios en el FP al utilizar 100, 200 y 400 mg kg⁻¹ de aceite esencial de jengibre en la dieta.

Producción de CH₄ y CO₂

La producción (mL g MS⁻¹) y concentración (%) de CH₄ y CO₂ fueron afectadas por la cantidad de RSJ incorporado en la dieta (Tabla 2). Tanto la producción como la concentración de CH₄ disminuyeron significativamente ($P \leq 0.05$) a partir de 5% de RSJ, sin diferencias con 10, 20 y 40% de RSJ ($P > 0.05$). La producción de CH₄ disminuyó entre 45.9 y 52.1% a partir de 5 y hasta 40% de RSJ, respectivamente, en comparación a la dieta testigo. El jengibre ha sido utilizado para disminuir el CH₄ ruminal *in vitro*, tanto como harina (Soroor y Moeini 2015, Khejornsart *et al.* 2021), extractos metanólicos obtenido de la parte superior de la planta (Kim *et al.* 2012) y aceites esenciales del rizoma (Altınçekiç *et al.* 2021). Aunque todos los estudios previamente mencionados reportan disminución en la producción de CH₄ con la adición de jengibre en alguna de sus formas, en ninguno de ellos fue tan considerable como lo reportado en este experimento, que fue de 52%. Sin embargo, cabe mencionar que también existen estudios en los cuales el uso de jengibre no disminuyó la producción de CH₄ (Kurniawati *et al.* 2018, Patra *et al.* 2010). La disminución en la producción de CH₄ podría estar relacionada con el efecto antimicrobiano de los metabolitos secundarios del jengibre (Dieumou *et al.* 2009, Shanoon *et al.* 2012, Kumar *et al.* 2014, Salmanzadeh 2015, Kurniawati *et al.* 2018, Mekuiko *et al.* 2018), disminuyendo bacterias y protozoarios ruminales (Kurniawati *et al.* 2018, Khejornsart *et al.* 2021), principalmente protozoarios ciliados, los cuales se encuentran asociados a las arqueas metanogénicas (Patra *et al.* 2010, Kim *et al.* 2012). Se estima que entre 9 y 37% del CH₄ ruminal es producido por estos microorganismos (Newbold *et al.* 2015, Eckard *et al.* 2010, Huws *et al.* 2018). Adicionalmente, se hipotetizaría que los microRNAs del jengibre podrían afectar a las poblaciones de microorganismos ruminales responsables de la producción de CH₄. Estos microRNAs, tanto a una dosis alta como baja (10 y 0.5 mg kg⁻¹ de peso corporal, respectivamente), han

mostrado modificar la composición bacteriana del intestino de ratones, incrementando la abundancia relativa de familias Lactoballaceae y Bacteroidales, y disminuyendo la Clostridiaceae (Teng *et al.* 2018).

Respecto a la concentración de CO₂, se observó un comportamiento inverso al de CH₄, aumentando significativamente a partir de 5% de RSJ ($P \leq 0.05$), sin diferencias con los tratamientos 10, 20 y 40% de RSJ ($P > 0.05$); sin embargo, la producción de CO₂ fue estadísticamente menor ($P \leq 0.05$) con 40% de RSJ ($< 21.5\%$). Estudios previos han reportado disminución de CO₂ similares con la utilización de harina (Soroor y Moeini 2015) y aceite esencial de jengibre (Altınçekiç *et al.* 2021) cuyos resultados coinciden con los obtenidos en este estudio. El aumento en la producción de CO₂ ruminal fue previamente reportado por Kim *et al.* (2012), quienes observaron un incremento del 20.3% en la producción de CO₂ *in vitro* al adicionar un extracto de la parte superior del jengibre.

Producción de gas acumulado

La PG acumulado no se afectó en las primeras 6 horas de incubación con el RSJ en la dieta ($P > 0.05$), pero disminuyó significativamente con 20 y 40% de RSJ a partir de las 9 h, así como con 10% a partir de las 12 h y hasta las 72 h de incubación, respecto al tratamiento testigo ($P \leq 0.05$, Figura 1). Un estudio previo reportó hasta 19.6% disminución de la PG con 7.5% de harina de jengibre (Khejornsart *et al.* 2021). También se han reportado menor PG con el uso de aceite esencial de jengibre (Kurniawati *et al.* 2018, Altınçekiç *et al.* 2021). En contraste los otros estudios han observado hasta 5.4% de aumento en la PG con 15 y 30% de jengibre seco en la dieta (Soroor y Moeini 2015) y de 8.7% con la adición de 1% de extracto etanólico elaborado con la parte superior de la planta de jengibre (Kim *et al.* 2012). Asimismo, Mekuiko *et al.* (2018) reportaron un aumento de hasta 9.9% en la PG al agregar 0.02% de aceite esencial de jengibre en la dieta respecto al tratamiento testigo en líquido ruminal de cabras, mientras que el mismo tratamiento incubado en líquido ruminal de borregos bajo las mismas condiciones no tuvo efectos. Lo anterior, es un indicativo

del efecto del origen del líquido ruminal utilizado para la fermentación *in vitro*. Por otro lado, también hay estudios en los cuales no hay cambios en la PG con la adición de extractos etanólicos, metanólicos y acuosos de raíz de jengibre en la dieta (Patra *et al.* 2010), lo cual coincide con los tratamientos con 1, 3 y 5% de RSJ del presente experimento, efecto que podría indicar que bajas concentraciones de jengibre no afectan la PG.

Degradabilidad de la materia seca

No hubo diferencias significativas durante las primeras 12 h de incubación ($P > 0.05$), pero a partir de las 24 hasta las 72 h de incubación, la DMS del tratamiento con 40% RSJ disminuyó significativamente ($P \leq 0.05$) en comparación al resto de los tratamientos evaluados (Figura 2). Este resultado es similar a lo reportado con extractos (Patra *et al.* 2010, Altınçekiç *et al.* 2021) o aceite esencial (Mekuiko *et al.* 2018) de jengibre. No obstante, también hay estudios que reportan el efecto contrario, como Soroor y Moeini (2015) quienes reportaron un incremento de casi 8% en la degradabilidad de la materia orgánica con 30% de jengibre seco en una dieta de 70:30 heno de alfalfa y cebada, respecto a la dieta testigo.

Los resultados observados, respecto a otras investigaciones sobre el efecto de jengibre en la fermentación ruminal, no son concluyentes y no son comparables entre sí, ya que cada uno puede ser afectado por diversos factores, como la composición de las dietas basales, proporción grano:forraje, digestibilidad de la materia orgánica (Soroor y Moeini 2015) y origen del líquido ruminal utilizado (Mekuiko *et al.* 2018). Asimismo, el jengibre puede influir en la fermentación ruminal dependiente de la cantidad utilizada, la forma en la que se suministra (extracto, aceite esencial o harina), parte vegetativa de la cual proviene el extracto (raíz o parte superior de la planta), y tipo de extracto (metanólico, etanólico o acuoso). Por otro lado, la temperatura de deshidratación, temperatura de extracción (calor o liofilizado) y pH del procesamiento del jengibre (Ok y Jeong 2012, An *et al.* 2015); estado físico del jengibre, ya sea fresco o seco (Ozola *et al.* 2019), así como el genotipo o variedad y tiempo de almacenado

post cosecha del rizoma (Sanwal *et al.* 2010, Yeh *et al.* 2014) cambian la composición y concentración de los metabolitos secundarios, principalmente de compuestos fenólicos como gingeroles y shogaoles, o aceites esenciales del jengibre. Estos compuestos poseen efectos antimicrobianos (Abd *et al.* 2020) pudiendo afectar la microbiota ruminal (Kim *et al.* 2012). Incluso, es posible que los microRNAs del jengibre afecten las características de la fermentación ruminal, regulando y modulando a la microbiota del rumen. Estudios en ratones han demostrado que los microRNAs del jengibre son captados selectivamente por las bacterias intestinales regulando su expresión genética y, en consecuencia, modulando la composición y función de la microbiota intestinal (Teng *et al.* 2018). Por lo anterior, es importante profundizar y enfocar los estudios venideros en determinar los componentes específicos o su interacción en la composición microbiana y fermentación ruminal.

CONCLUSIONES

En las condiciones de este estudio, el 5% de RSJ en la dieta es suficiente para disminuir la producción y concentración de CH₄, sin afectar de forma negativa otras variables de la fermentación ruminal. Pero aún es necesario determinar cuáles son los metabolitos secundarios involucrados, así como su efecto en la modulación de la microbiota ruminal. Por otro lado, es indispensable que se lleven a cabo estudios *in vivo* que permitan determinar el efecto del RSJ y sus metabolitos en las variables productivas de los rumiantes.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) de México por la beca de doctorado otorgada al primer autor, así como al Colegio de Postgraduados Campus Montecillo y Campus Campeche por el financiamiento a través del Apoyo para Actividades Académicas.

LITERATURA CITADA

- Abd El-Hack ME, Alagawany M, Shaheen H, Samak, D, Othman SI, Allam AA, Taha AE, Khafaga AF, Arif M, Osman A, El-Sheikh AI, Elnesr SS, Sitohy M (2020) Ginger and its derivatives as promising alternatives to antibiotics in poultry feed. *Animals* 10(3): 452. DOI: 10.3390/ani10030452.
- Altınçekiç E, Canbolat Ö, Öziş Altınçekiç Ş (2021) Effect of ginger essential oil on *in vitro* gas production, rumen fermentation and methane production. *Journal of Agricultural Sciences* 27: 509-515.
- An K, Zhao D, Wang Z, Wu J, Xu Y, Xiao G (2016) Comparison of different drying methods on Chinese ginger (*Zingiber officinale* Roscoe): Changes in volatiles, chemical profile, antioxidant properties, and microstructure. *Food Chemistry* 15: 1292-1300.
- AOAC (2006) Animal feed. In: Horwitz W and Lamiter GW (eds) Official Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemists. AOAC International. USA. pp: 1-72.
- Blümmel M, Steingäß H, Becker K (1997) The relationship between *in vitro* gas production, *in vitro* microbial biomass yield and 15N incorporation and its implications for the prediction of voluntary feed intake of roughages. *British Journal of Nutrition* 77: 911-921.
- Bodas R, López S, Fernández M, García-González R, Rodríguez AB, Wallace RJ, González JS (2008) *In vitro* screening of the potential of numerous plant species as antimethanogenic feed additives for ruminants. *Animal Feed Science and Technology* 145: 245-258.
- Dieumou FE, Tegua A, Kuate JR, Tamokou JD, Fonge NB, Dongmo MC (2009) Effects of ginger (*Zingiber officinale*) and garlic (*Allium sativum*) essential oils on growth performance and gut microbial population of broiler

- chickens. *Livestock Research for Rural Development* 21(8). <https://lrrd.cipav.org.co/lrrd21/8/dieu21131.htm>. Fecha de consulta: 5 de abril de 2022.
- Eckard RJ, Grainger C, Klein CAM (2010) Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: A review. *Livestock Science* 130: 47-56.
- FAO (2022) Global livestock environmental assessment model. Assessment of greenhouse gas emissions and mitigation potential. Food and Agriculture Organization of the United Nation. <https://www.fao.org/gleam/results/es/>. Fecha de consulta: 10 de abril de 2022.
- Fievez V, Babayemi OJ, Demeyer D (2005) Estimation of direct and indirect gas production in syringes: A tool to estimate short chain fatty acid production that requires minimal laboratory facilities. *Animal Feed Science and Technology* 123: 197-210.
- France J, Dijkstra J, Dhanoa M, Lopez S, Bannink A (2000) Estimating the extent of degradation of ruminant feeds from a description of their gas production profiles observed *in vitro*: derivation of models and other mathematical considerations. *British Journal of Nutrition* 83: 143-150.
- Huws SA, Creevey CJ, Oyama LB, Mizrahi I, Denman SE, Popova M, Muñoz-Tamayo R, Forano E, Waters SM, Hess M, et al. (2018) Addressing global ruminant agricultural challenges through understanding the rumen microbiome: past, present, and future. *Frontiers in Microbiology* 9: 2161. DOI: 10.3389/fmicb.2018. 02161.
- Johnson KA, Johnson DE (1995) Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science* 73: 2483-2492.
- Khejornsart P, Cherdthong A, Wanapat M (2021) *In vitro* screening of plant materials to reduce ruminal protozoal population and mitigate ammonia and methane emissions. *Fermentation* 7(3): 166. DOI: 10.3390/fermentation7030166.
- Kim ET, Kim CH, Min KS, Lee SS (2012) Effects of plant extracts on microbial population, methane emission and ruminal fermentation characteristics *in vitro*. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 25: 806-811.
- Kumar NV, Murthy PS, Manjunatha JR, Bettadaiah BK (2014) Synthesis and quorum sensing inhibitory activity of key phenolic compounds of ginger and their derivatives. *Food Chemistry* 159: 451-457.
- Kurniawati A, Widodo W, Artama W T, Yusiati L M (2018) Study of local herb potency as rumen modifier: the effect of red ginger (*Zingiber officinale* var. Rubrum) on parameters of ruminal fermentation *in vitro*. IOP Conference Series: Earth Environmental Science 119: 012058 DOI: 10.1088/1755-1315/119/1/012058.
- Mao QQ, Xu XY, Cao SY, Gan RY, Corke H, Beta T, Li HB (2019) Bioactive compounds and bioactivities of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *Foods* 8(6): 185. DOI: 10.3390/foods8060185.
- Mekuiko WH, Tendonkeng F, Ngoula F, Miégoué E, Lemoufouet J, Fogang ZB, Chounna A, Mouchili M, Pamo TE (2018) Effect of the essential oil of rhizomes of *Zingiber officinale* on the *in vitro* digestibility of Pennisetum clandestinum hay in small ruminants. *International Journal of Current Innovations Research* 4: 984-989.
- Mendoza-Martínez GD, Plata-Pérez FX, Espinosa-Cervantes R, Lara-Bueno A (2008) Manejo nutricional para mejorar la eficiencia de utilización de la energía en bovinos. *Universidad y Ciencia* 24: 75-87.
- Menke K, Raab L, Salewski A, Steingass H, Fritz D, Schneider W (1979) The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedingstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor *in vitro*. *The Journal of Agricultural Science* 93: 217-222.
- Moss A, Jouany JP, Newbold J (2000) Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Annales de Zootechnie* 49(3): 231-253.

- NRC (2000) Nutrient requirements of beef cattle. National Research Council. Seventh Revised Edition. The National Academies Press. Washington, DC. 248p.
- Newbold CJ, De la Fuente G, Belanche A, Ramos-Morales E, McEwan NR (2015) The role of ciliate protozoa in the rumen. *Frontiers in Microbiology* 6: 1313. DOI: 10.3389/fmicb.2015.01313.
- Ok S, Jeong WS (2012) Optimization of extraction conditions for the 6-shogaol-rich extract from ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *Preventive Nutrition and Food Science* 17: 166-171.
- Ozola B, Augšpole I, Duma, MM, Kreicbergs V (2019) Bioactive compounds in fresh and dried ginger root (*Zingiber officinale*). *FoodBalt* 50: 265-268.
- Patra AK (2012) Enteric methane mitigation technologies for ruminant livestock: A synthesis of current research and future directions. *Environmental Monitoring and Assessment* 184(4): 1929-1952.
- Patra AK, Kamra DN, Agarwal N (2010) Effects of extracts of spices on rumen methanogenesis, enzyme activities and fermentation of feeds *in vitro*. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90(3): 511-520.
- Posada SL, Noguera RR (2005) Técnica *in vitro* de producción de gases: Una herramienta para la evaluación de alimentos para rumiantes. *Livestock Research for Rural Development* 17(4). <http://www.lrrd.org/lrrd17/4/posa17036.htm>. Fecha de consulta: 10 de abril de 2022.
- SAGARPA (2001) NOM-062-ZOO-1999 Norma Oficial Mexicana. Especificaciones Técnicas para la Producción, Cuidado y Uso de Animales de Laboratorio. Diario Oficial de la Federación 22 de agosto de 2001. pp 107-165.
- Salmanzadeh M (2015) Does dietary ginger rhizome (*Zingiber officinale*) supplementation improve the performance, intestinal morphology and microflora population, carcass traits and serum metabolites in japanese quail. *European Poultry Science* 79. DOI: 10.1399/eps.2015.90.
- Sanwal SK, Yadav RK, Singh PK, Buragohain J, Verma MR (2010) Gingerol content of different genotypes of ginger (*Zingiber officinale*). *Indian Journal of Agricultural Sciences* 80: 258-260.
- SAS (2002) Statistic version 9.0. Statistical Analysis System. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. 4424p.
- Shanoon AK, Jassim MS, Amin QH, Ezaddin IN (2012) Effects of ginger (*Zingiber officinale*) oil on growth performance and microbial population of broiler ross 308. *International Journal of Poultry Science* 11: 589-593.
- Soroor ME, Moeini MM (2015) The influence of ginger (*Zingiber officinale*) on *in vitro* rumen fermentation patterns. *Annual Research & Review in Biology* 5: 54-63.
- Temmar R, Rodríguez-Prado M, Forgeard G, Rougier C, Calsamiglia S (2021) Interactions among natural active ingredients to improve the efficiency of rumen fermentation *in vitro*. *Animals* 11: 1205. DOI: 10.3390/ani11051205.
- Teng Y, Ren Y, Sayed M, Hu X, Lei C, Kumar A, Hutchins E, Mu J, Deng Z, Lou Ch, et al. (2018) Plant-derived exosomal micrnas shape the gut microbiota. *Cell Host Microbe* 24(5): 637-652.
- Theodorou MK, Williams BA, Dhanoa MS, McAllan AB, France J (1994) A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology* 48: 185-197.
- Van-Soest PJ (1963) Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. *Journal of Association of Official Agricultural Chemists* 46: 829-835.

- Wang X, Zhang D, Jiang H, Zhang S, Pang X, Gao S, Zhang S, Pang X, Gao S, Zhang H, et al. (2021) Gut microbiota variation with short-term intake of ginger juice on human health. *Frontiers in Microbiology* 11: 576061. DOI: 10.3389/fmicb.2020.576061.
- Williams CL, Thomas BJ, McEwan NR, Rees SP, Creevey CJ, Huws SA (2020) Rumen protozoa play a significant role in fungal predation and plant carbohydrate breakdown. *Frontiers in Microbiology* 11: 576061. DOI: 10.3389/fmicb.2020.576061.
- Xing H, Li Y, Ren Y, Ying Z, Xiaoli W, Hong-Lei L (2022) Genome-wide investigation of microRNAs and expression profiles during rhizome development in ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *BMC Genomics* 23: 49. DOI: 10.1186/s12864-021-08273-y.
- Yeh HY, Chuang CH, Chen HC, Wan CJ, Chen TL, Lin LY (2014) Bioactive components analysis of two various gingers (*Zingiber officinale* Roscoe) and antioxidant effect of ginger extracts. *Food Science and Technology* 55: 329-334.