









Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2024; 15:1-16. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2024.8>
Artículo Original. Recibido:10/07/2023. Aceptado:19/04/2024. Publicado:25/05/2024. Clave: e2023-22.
<https://www.youtube.com/watch?v=D3VT1UbcrGY>

Estimación de metano en corderos bajo condiciones de estiaje con dieta de mantenimiento y probióticos



Estimation of methane in lambs under dry conditions with a maintenance diet and probiotics

Carlos Meza-López^{1*} , Rómulo Bañuelos-Valenzuela^{1} , Francisco Echavarría-Cháirez² , Lucía Delgadillo-Ruiz³ , Eladio Delgadillo-Ruiz⁴ , Norma Gaytan-Saldaña³ **

¹Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Carretera Panamericana Zacatecas-Fresnillo, Km 31.5 Calera de Víctor Rosales, Zacatecas, México. CP. 98500
²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo experimental Zacatecas, México. CP. 98500 Calera de Víctor Rosales, Zacatecas, México. ³Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Ciencias Biológicas. Avenida Preparatoria s/n colonia Hidráulica, CP. 98068, Zacatecas, Zacatecas, México. ⁴Universidad de Guanajuato, División de Ingenierías, Departamento de Ingeniería Civil Ambiental, Av. Juárez #77, Col. Centro, Guanajuato, Guanajuato. C.P. 36000. *Autor responsable: Carlos Meza-López. **Autor de correspondencia: Rómulo Bañuelos-Valenzuela. E-mail: carmezlop@yahoo.com.mx, apozolero@hotmail.com, fechava1@yahoo.com, luciadeldgadillo@uaz.edu.mx, e.delgadillo@ugto.mx, gaytanangelica1@gmail.com

RESUMEN

El propósito fue estimar emisiones de metano y óptimo económico en ovinos bajo condiciones de estiaje con dieta de mantenimiento, al comparar biopreparados de microorganismos no comercial (PNC) y probiótico comercial REVET® (PCRE) a diferentes concentraciones en ovinos en el semiárido de Zacatecas. El experimento se efectuó en El Remolino, Juchipila, Zacatecas, se utilizaron 21 ovinos cruce Katahdin X Dorper con peso de 14.3±1.74 kg y dieta de mantenimiento. El PNC se incluyó en T1 (100%), T2 (66%), T3 (33%), y un testigo T4, mismas condiciones se aplicaron al PCRE en T5 (100%), T6 (66%), y T7 (33%). Se registró el peso, se obtuvieron muestras de contenido ruminal para cuantificar ácidos grasos volátiles (AGV's), metano y amoníaco. Se realizó un análisis de varianza y se calcularon funciones de respuesta para identificar el óptimo económico. Sobresale el tratamiento T2, que utilizó el PNC y mostró la mayor cantidad de AGV's con una producción intermedia de metano, sin embargo, el mejor tratamiento fue T6 PCRE del biopreparado de microorganismos ya que mostró consistencia en la producción de AGV's y menor concentración de metano, pero con una inversión mayor y menor ganancia económica. Los biopreparados de microorganismos son una opción para productores de ovinos con menor capacidad de inversión en el semiárido de Zacatecas.

Palabras clave: ovinos, metano, costo, alimento.

ABSTRACT

The purpose was to estimate methane emissions and economic optimum in sheep under dry conditions with a maintenance diet, compare biopreparations of non-commercial microorganisms (PNC) and commercial probiotic REVET® (PCRE) at different concentrations in sheep in the semi-arid of Zacatecas.



The experiment was carried out in El Remolino, Juchipila, Zacatecas, 21 Katahdin X Dorper cross sheep weighing 14.3 ± 1.74 kg and maintenance diet were used. The PNC was included in T1 (100%), T2 (66%), T3 (33%), and a control T4, while the same conditions were applied to the PCRE in T5 (100%), T6 (66%), and T7 (33%). Weight was recorded and rumen content samples were obtained to quantify volatile fatty acids (VFAs), methane and ammonia. An analysis of variance was performed, and response functions were calculated to identify the economic optimum. Treatment T2 stands out, which used the PNC and showed the highest amount of VFAs with an intermediate production of methane, however, the best treatment was T6 PCRE of the microorganism biopreparation since it showed consistency in the production of VFAs and less methane concentration, but with a higher investment and lower economic gain. Microorganism biopreparations are an option for sheep producers with less investment capacity in the semi-arid region of Zacatecas.

Keywords: sheep, methane, cost, food.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial la producción de rumiantes contribuye con 18 % del total de gases de efecto invernadero (GEI); principalmente por las emisiones de dióxido de carbono (CO_2), emisión de metano (CH_4) por fermentación entérica, el CO_2 eq (CO_2 equivalente. 1ton $\text{CH}_4=25$ ton CO_2 eq) son atribuidas a las especies ganaderas de mayor explotación en el mundo, son del orden de 8077 Gton de CO_2 eq por año (Gerber *et al.*, 2017); de las cuales 5024 Gton corresponden a bovinos (62.2%) y 596 Gton a pequeños rumiantes (7.37%). Las emisiones de metano de los rumiantes constituyen una de las más importantes fuentes antropogénicas de gases de efecto invernadero, y representan un problema importante con respecto al impacto de la agricultura en el cambio climático y el medio ambiente; al mismo tiempo, hay una necesidad de aumentar la generación de alimentos (Lima *et al.*, 2019).

Los poligástricos poseen bacterias ruminales que producen metano como subproducto de la fermentación del alimento; si estos comen más, la producción de metano aumenta; ya que las bacterias del rumen usan energía para producir metano, lo que es proporcional a la ingesta. En general, el metano producido por el ganado contribuye cerca del 10% de las emisiones de gases de efecto invernadero (Paganoni *et al.*, 2017).

La búsqueda de soluciones en la disminución de emisiones de GEI, son la evaluación de técnicas de manejo sencillas, que contribuyan a la mitigación. Se pueden reducir las emisiones del sector ganadero si se reduce la producción y el consumo de productos pecuarios, o reduciendo la intensidad de las emisiones de metano; también por una combinación de ambos. De acuerdo con el modelo de evaluación ambiental de la ganadería mundial, se pudiera lograr una disminución de hasta 244 Gt en pequeños rumiantes, a nivel mundial; al lograr que la mayoría de los ganaderos utilicen las prácticas tecnológicas del 10% de los productores con menor intensidad de emisiones; esto, manteniendo constante la producción (Gerber *et al.*, 2017). Diversas estrategias de



mitigación de CH₄ han sido investigados; entre ellos los cambios nutricionales, la selección de crías de bajas emisiones de CH₄, o la manipulación y manejo del rumen (Wanapat *et al.*, 2013).

Dentro de las alternativas para la reducción de las emisiones GEI, están los probióticos; los cuales han sido ampliamente utilizado en rumiantes para mejorar la ingesta de materia seca; y por lo tanto, la productividad especialmente en animales bajo condiciones de estrés (Molina, 2019), como en el semiárido zacatecano. La *Saccharomyces cerevisiae* es una levadura, cuya inclusión en las dietas de rumiantes mejora la utilización de forrajes de baja calidad y un aumento de la producción de leche. Asimismo, su inclusión incrementa el consumo de materia seca, materia orgánica, proteína cruda y la ingesta de fibra detergente neutra, pero sin afectar el rendimiento del peso corporal (Khattab *et al.*, 2020). Los probióticos son cultivos simples o mezclados de microorganismos vivos, que aplicados a los animales o incluso al hombre, benefician al hospedero, toda vez que mejoran las propiedades de la microflora intestinal original (Delgado *et al.*, 2019).

El término "probiótico" es reservado para fórmulas o productos que cumplen estrictamente criterios definidos, el más importante de estos criterios incluye un recuento apropiado de células viables, un efecto benéfico sobre la salud del huésped (que también puede involucrar estímulos con relación al crecimiento), e incluso un efecto favorable sobre la función del tracto alimentario. La eficacia de preparaciones probióticas depende de numerosos factores, entre otras, la selección de cepas bacterianas y aplicación de la dosis correcta. Debido a su efecto favorable en la salud y la estimulación del crecimiento, los probióticos son ampliamente utilizados en alimentos para animales (Markowiak & Ślizewska, 2018).

Los sistemas de producción de carne de ovino, bajo condiciones de pastoreo extensivo del norte de México, son afectados por periodos secos anuales, que se extienden generalmente a partir de enero a junio (Echavarría *et al.*, 2006). En este escenario, la disponibilidad de forraje y su calidad, son factores limitantes que reducen la productividad animal y la rentabilidad económica. Para mitigar el efecto de baja disponibilidad y baja calidad de la dieta usada, se pretende lograr una mejoría con el uso de probióticos, al incrementar la calidad nutritiva de la dieta utilizada; la cual está basada en rastrojo de maíz con una reducida cantidad de grano y un reducido porcentaje de alfalfa molida; para simular la dieta de mantenimiento comúnmente usada en condiciones de sequía.

Por lo anterior, el propósito fue estimar las emisiones de metano y determinar el óptimo económico en ovinos en estiaje, con dieta de mantenimiento para comparar un biopreparado de microorganismos no comerciales (PNC), y el probiótico comercial REVET® (PCRE); ambos a diferentes concentraciones en el semiárido zacatecano.



MATERIAL Y MÉTODOS

Ubicación del estudio de los ovinos

El estudio se realizó en la comunidad de El Remolino, en el municipio de Juchipila, Zacatecas, México; localizado entre 103°07'26.15" de Latitud Norte y 21°21'48.10" de Longitud Oeste, a 1220 msnm (INEGI, 2021). Se emplearon 21 ovinos de la craza Katahdin X Dorper, distribuidos en dos grupos los tratamientos del PNC y PCRE®; la dosis recomendada por el fabricante es tres gramos por día en ovinos; la edad oscilaba entre de 59±5 días; pesos media de 14.3±1.7 kg, alojados en condiciones similares en corraletas individuales de malla de alambre, comederos de canoa, bebederos cubeta de 20 litros, donde se ofrecía el probiótico.

Dieta y análisis del alimento de los corderos bajo condiciones de estiaje

La dieta de mantenimiento de los ovinos en cuestión, incluyó: un 70% de rastrojo de maíz molido, 15% de alfalfa molida, 5% de grano de maíz, 8% de melaza, 1.5% de bicarbonato, 0.1% de mezcla de vitaminas y minerales; así como un 0.4% de sal común. El contenido bromatológico de la mezcla de alimento para los ovinos en crecimiento fue: materia seca (MS) (89.8%), humedad (10.4%), proteína cruda (PC) (8.3%), fibra detergente ácida (FDA) (24.4%), fibra detergente neutra (FDN) (38.8%), carbohidratos no fibrosos (CNF) (27.3%), almidón (8.3%), grasa cruda (GC) (2.0%), total de nutrientes digestibles (TND) (56%), energía neta de lactancia (ENI) (1.25 Mcal/kg), energía de mantenimiento (ENm) (1.23 Mcal/kg), energía neta de ganancia (ENg) (71 Mcal/kg) y cenizas (13.21%).

Administración de tratamientos con diferentes dosis de PNC y PCRE

El probiótico se ofreció en los seis litros de agua todos los días a las 08:00 am, siendo los siguientes: T1-PNC (100% de la dosis recomendada en 6 L de agua + dieta), T2-PNC (66% de la dosis recomendada en 6 L de agua + dieta), T3-PNC (33% de la dosis recomendada en 6 L de agua + dieta), T4-testigo (0% de la dosis recomendada en 6 L de agua + dieta), T5-PCRE (100% de la dosis recomendada en 6 L de agua + dieta), T6-PCRE (66% de la dosis recomendada en 6 L de agua + dieta) y T7-PCRE (33% de la dosis recomendada en 6 L de agua + dieta). La aplicación de las diferentes dosis del biopreparado de microorganismos no comercial (PNC) y probiótico comercial REVET® (PCRE), fue adicionada en el agua, la cual estaba *ad libitum* (El-Sayed & Mousa, 2020).

Elaboración del PNC en fase solida

Para la elaboración del PNC se utilizaron 40 kg de salvado de trigo Y 20 kg de mantillo forestal (materia orgánica en descomposición), el cual contiene los microorganismos desarrollados en condiciones naturales de montaña; una solución de 0.5 kg de melaza en cinco litros de agua y un barril de plástico con capacidad de 100 litros. En la preparación de PNC sólido, se colocaron los 40 kg de salvado sobre una superficie limpia, se agregaron los 20 kg de mantillo forestal, luego se humedece con la solución de melaza



y evitar el exceso de humedad; se mezcla todo. Finalmente se coloca la mezcla en un barril, se compacta y se sella. Se destapó el barril cada dos o tres días, para permitir la liberación de gases. El PNC sólido está listo después de 30 días (Delgadillo-Ruiz *et al.*, 2022).

Elaboración del PNC líquido a partir de la porción sólida

Para la elaboración del PNC líquido, se tomaron ocho kg de PNC sólido, introducidos envueltos en una manta como bolsa de té en 100 litros de agua, con cinco kg de melaza; dejando reposar por dos horas. Transcurrido el tiempo la solución está lista para usarse. Se caracterizó el contenido de microorganismos presentes en la solución; se reportan: Mesófilos 1.94×10^7 UFC/100mL, Lactobacilos 1.6×10^6 UFC/100mL, *S. aureus* 4.2×10^4 UFC/100mL, *Candida* 5.5×10^3 UFC/100mL, *E. coli* 1.18×10^6 UFC/100mL, Hongos 4.0×10^5 UFC/100mL y Levaduras 4.27×10^7 UFC/100mL (Delgadillo-Ruiz *et al.*, 2022).

Propiedades atribuidas al PCRE en corderos

El probiótico del PCRE® líquido de administración, coadyuva: al equilibrio de microorganismos intestinales en ovinos, previene la disfunción ruminal, aumenta la síntesis microbiana, mantiene el equilibrio y las condiciones óptimas de la flora del rumen. Las dosis recomendadas por el fabricante es tres gramos por día en ovinos (peso promedio de 45 kg) contiene *Lactobacillus acidophilus* 7.3×10^{18} UFC/100mL, *Streptococcus faecium* 1.1×10^6 UFC/100mL y *Saccharomyces cerevisiae* 3.6×10^{11} UFC/100mL (Delgadillo-Ruiz *et al.*, 2022).

Condiciones de manejo de los corderos en tratamiento

Para la evaluación del efecto del biopreparado de microorganismos (PNC) y probiótico comercial REVET® (PCRE) en los animales, la edad promedio es de 59 ± 5 días, pesos promedio de 14.3 ± 1.7 kg; alojados en condiciones homogéneas en corraletas individuales de malla de alambre, comederos de canoa, cubeta de 20 litros como bebedero (El-Sayed & Mousa, 2020; Delgadillo-Ruiz *et al.*, 2022).

Parámetros evaluados y condiciones

La ganancia de peso se determinó por diferencias entre el peso final y el peso inicial de los ovinos, utilizados en el estudio. La toma de muestras para AGV's y amoniaco se realizó cada mes. Para esta determinación se extrajeron las muestras por medio de una sonda orofaríngea; se toman 5 mL en un tubo cónico y agregar 1 mL de ácido metafosfórico. Para esterificar los AGV's presentes, tomar otros 5 mL; para la determinación de amoniaco las muestras se congelaron inmediatamente para su estudio posterior. La determinación de AGV's se efectuó mediante un cromatógrafo de gases (CG) de la marca Agilent Technologies serie 6890N; se empleó una columna polar DB_WAXetr. Las condiciones de trabajo fueron, temperatura después de la inyección



250°C, a una presión de 12.13 psi, con un flujo de He 36.5 mL/min. Al Utilizar un detector de flama ionizante (FID), a una temperatura de 210°C, con un flujo de H₂ de 40 mL/min y un flujo de aire de 450 mL/min (Delgadillo-Ruiz *et al.*, 2019; Gallegos-Flores *et al.*, 2019). La toma de la muestra fue a las 48 horas de digestibilidad. Se determinaron cuantitativamente las concentraciones de tres ácidos grasos de cadena corta (acético, propiónico y butírico). El metano se estimó a partir de la concentración de AGV's, mediante la aplicación del modelo matemático establecido por Moss *et al.* (2000), donde se señala que la producción de CH₄ se puede calcular de forma estequiométrica; se usa la siguiente ecuación:

$$\text{CH}_4 = 0.45 \text{ C}_2 - 0.275 \text{ C}_3 + 0.4 \text{ C}_4 \quad \text{Ec 1}$$

Donde:

CH₄= Concentración de metano (mmol/L)

C₂= Concentración de ácido acetato (mmol/L)

C₃= Concentración de ácido propionato (mmol/L)

C₄= Concentración de ácido butírico (mmol/L)

La determinación de amoniaco se realizó mediante el método colorimétrico del azul de indofenol (Islam *et al.*, 2021). La sensibilidad del método es de 0-2 µg/L.

Análisis estadístico

Para el análisis de la información se utilizó un diseño experimental completamente al azar. Debido a que se realizaron muestreos mensuales, la información se analizó mediante un análisis de medidas repetidas, mediante el programa estadístico SAS® y la prueba de comparación de medias fue la diferencia mínima significativa (LSD) (α=0.05). Adicionalmente se utilizó la prueba de chi cuadrada, y para el análisis integral se generaron funciones de respuesta por medio de regresión múltiple, con las que se realizó la identificación del óptimo económico (SAS, 2021).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La ganancia de peso acumulada (P<0.05) en el transcurso del experimento durante 107 días (tabla 1); en este caso, la tasa de crecimiento proviene del análisis de medidas repetidas, lo que permitió distinguir la respuesta al uso de los tratamientos en términos de peso medio y peso final. Se presentaron diferencias entre tratamientos (P<0.05); siendo el tratamiento 6 (66% PCRE) el que produjo las mayores ganancias de peso, seguido del tratamiento 7 (100% PCRE). Los pesos al final del estudio muestran al mismo tratamiento 7, seguido del tratamiento 5 (33% PCRE). Del grupo de tratamientos con PNC sólo el Tratamiento 2 superó al testigo.



Tabla 1. Valores de los pesos de corderos en crecimiento con tratamiento de PNC y PCRE

Tratamiento	Peso medio (kg)	Tratamiento	Peso Final (kg)
T6 PCRE	21.25 ^a	T6 PCRE	27.0
T7 PCRE	20.14 ^{ab}	T5 PCRE	24.0
T5 PCRE	19.28 ^{abc}	T7 PCRE	23.7
T4 testigo	18.50 ^{bc}	T2 PNC	23.0
T2 PNC	17.65 ^{bc}	T4 testigo	22.9
T1 PNC	17.02 ^c	T1 PNC	21.3
T3 PNC	16.74 ^c	T3 PNC	16.7

*Literales distintas entre columna indican diferencia significativa entre tratamientos ($P < 0.05$). PNC: biopreparado de microorganismos. PCRE: probiótico comercial REVET.

Autores como [Bueno & Lemes \(2008\)](#) y [López *et al.* \(2015\)](#), han reportado el uso de microorganismos eficientes en nutrición animal, fundamentalmente en bovinos; pero no utilizaron microorganismos autóctonos eficientes, y sin enfocarlo a ovinos en condiciones de dieta de mantenimiento bajo condiciones de sequía; de ahí la importancia de esta investigación. La GNP obtenida con la ración de mantenimiento administrada y la adición del PNC y el PCRE, generó diferencias al PCRE; pero al analizar las tasas de GNP entre muestreos, no presentaron diferencias entre tratamientos ($P < 0.05$); lo que mostró la efectividad de ambos productos. Los tratamientos con mayor tasa de GDP fueron T6 PCRE, con una ganancia de peso en promedio de 3.94 kg/muestreo, T2 PNC con 3.49 kg/muestreo y T1 PNC con 3.20 kg/muestreo; siendo mejores en la ganancia de peso que los tratamientos testigos; obteniendo resultados muy similares a los valores de [López *et al.* \(2015\)](#), en el que incluyó un probiótico (sorvifauna) en la alimentación de corderos al destete.

El efecto de respuesta a las dosis de PNC y PCRE sobre perfiles de AGVs de ácido acético, propiónico, butírico, la relación ácido acético/propiónico (A/P) y de la determinación de metano, se observan en la tabla 2. Los valores por tratamiento de la relación A/P, no presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos ni en la interacción. Sin embargo, cabe mencionar que la relación A/P influye en la producción de metano y entre microorganismos presentes en probióticos. Destaca el T2 PNC como uno de los que generan valores que producen menor cantidad de metano, seguido de T3 PNC y el T6 del PCRE.

La inclusión del biopreparado de microorganismos (PNC), como se muestra en los resultados, tuvo mayor efecto significativo ($P < 0.05$) en los niveles de ácidos grasos volátiles a nivel ruminal, que la inclusión del probiótico comercial REVET® (PCRE); pero sólo en la interacción a través del tiempo. Siendo la diferencia significativa para los niveles de ácido acético y butírico, para los niveles de ácido propiónico la inclusión del biopreparado de microorganismos y probiótico comercial REVET® (PCRE) fueron muy



similares; pero al observar que los dos tratamientos son efectivos en aumentar las concentraciones de los AGV's, debido a que existe una tendencia a menores o igual concentraciones de estos ácidos en tratamientos testigo. En la investigación de [Suárez-Machín & Guevara-Rodríguez \(2017\)](#), usaron *Saccharomyces cerevisiae* como probiótico; registraron un aumento en la concentración mmol/L de AGV's totales en contenido ruminal, pero no afectaron las proporciones de la relación A/P, resultados muy similares a este trabajo.

Tabla 2. Concentración (mmol/L±DE) de ácidos grasos volátiles acético propiónico y butírico, relación A/P y Metano en los cuatro tiempos de muestreo en los tratamientos de PNC y PCRE

	T1 PNC	T2 PNC	T3 PNC	T4 Testigo	T5 PCRE	T6 PCRE	T7 PCRE
	Acético						
M1	41.79±0.00	45.44±2.30	38.32±4.98	30.37±4.82	41.26±8.90	54.01±4.66	0.66±0.00
M2	36.72±5.98	25.07±13.27	39.88±2.35	34.84±0.00	50.72±9.65	34.98±6.18	36.62±5.12
M3	40.12±0.00	36.76±0.00	35.78±0.00	40.57±0.00	46.34±0.00	42.71±0.00	45.92±0.00
M4	45.08±2.33	43.67±4.87	30.55±3.62	32.59±0.00	32.59±2.92	24.68±1.67	35.24±0.91
	Propiónico						
M1	14.30±11.92	5.20±2.79	4.84±1.92	3.17±3.19	5.62±2.17	11.82±2.77	0.16±0.00
M2	6.27±2.67	2.79±0.00	3.73±1.19	3.30±0.00	5.36±0.23	1.39±0.58	2.44±2.59
M3	8.22±0.00	7.97±0.00	8.98±0.00	6.96±0.00	8.00±0.00	7.33±0.00	4.60±0.00
M4	3.30±0.58	12.38±13.03	3.70±2.37	1.26±0.00	1.82±0.98	7.27±2.88	8.50±4.48
	Butírico						
M1	0.59±0.16	0.60±0.03	0.48±0.09	0.59±0.17	0.61±0.08	0.62±0.18	0.15±0.21
M2	0.47±0.02	0.35±0.11	0.47±0.22	0.35±0.02	0.38±0.05	0.31±0.02	0.33±0.05
M3	0.36±0.00	0.30±0.00	0.34±0.00	0.35±0.00	0.38±0.00	0.39±0.00	0.36±0.00
M4	0.39±0.04	0.51±0.06	0.38±0.16	0.52±0.08	0.48±0.06	0.42±0.04	0.58±0.04
	Relación A/P						
M1	4.48±3.73	10.07±4.96	8.38±2.29	17.94±16.56	7.60±1.35	4.65±0.69	4.21±0.00
M2	6.22±1.69	8.98±4.75	11.15±2.93	10.57±0.00	9.42±1.39	26.58±6.64	31.73±0.00
M3	4.88±0.00	4.61±0.00	3.99±0.00	5.83±0.00	5.80±0.00	5.83±0.00	9.99±0.00
M4	20.25±3.87	9.66±8.56	14.03±4.03	28.38±0.00	21.06±10.01	12.41±14	4.90±2.65
	Metano						
M1	15.18±3.15	19.29±0.29	16.13±1.76	13.05±1.37	17.29±3.39	21.36±1.28	0.31±0.08
M2	15.02±1.96	10.67±5.92	17.12±0.65	14.93±0.01	21.52±4.30	15.49±2.62	15.95±1.62
M3	15.98±0.00	14.51±0.00	13.81±0.00	16.52±0.00	18.85±0.00	17.40±0.00	19.56±0.00
M4	19.55±1.19	16.51±1.31	12.90±2.33	14.53±0.03	14.37±1.07	9.31±1.51	13.80±1.60

M1: tiempo cero. M2: mes 1 de experimento. M3: mes 2 de experimento, M4: mes 4 de experimento. DE: Desviación estándar. PNC: biopreparado de microorganismos. PCRE: probiótico comercial REVET®

La relación A/P tampoco presentó una diferencia significativa entre tratamientos ($P>0.05$), pero cabe mencionar que esta relación se ve reflejada en la producción de metano; sin embargo, uno de los objetivos específicos de este trabajo era determinar el efecto del biopreparado de microorganismos (PNC) y probiótico comercial REVET® (PCRE) en la producción de metano. Entre más alta sea la proporción molar de esta relación, mayor es la producción de metano. La emisión de metano no sólo constituye un problema ecológico, también representa gran pérdida de la energía del alimento y disminuye la productividad de los animales. Se estima que más de 10% de la energía bruta que



contienen los alimentos, se pierde en forma de metano (Johnson *et al.*, 2000; Zhou *et al.*, 2011).

Desde el punto de vista de la aportación de cada tratamiento a la producción de metano, y considerar la fórmula de Moss *et al.* (2000) (Ec 1); el acetato se multiplica por el coeficiente más alto (0.45), lo que significa que los valores altos de acetato están asociados a valores altos de producción de metano; en este caso, en los tratamientos que generan los valores más bajos y con tendencia a disminuir la producción de ácido acético es el tratamiento T3 de PNC y el tratamiento T6 de PCRE; lo que significa que los valores bajos del PNC reducen la generación de metano.

En lo referente a los valores medios por tratamientos (tabla 3), se encontró en T5 PCRE, T1 PNC y T6, PCRE, los valores más altos; lo que indica que ambos tratamientos fueron equivalentes en producción de ácido acético. En el análisis estadístico de los valores obtenidos de ácido acético, se encontraron diferencias entre tratamientos y en la interacción con el tiempo ($P < 0.05$); siendo los T1, T2 PNC y el T7 PCRE, los que mantuvieron un crecimiento constante desde el inicio del estudio. Los tratamientos restantes disminuyeron sus valores, lo que generó diferencias ($P < 0.05$) a través del tiempo; siendo los tratamientos T1 PNC y T2 PNC, los que mantienen valores altos y ascendentes, seguidos del T4 testigo; aunque con valores menores. En cambio, el T7 PCRE inicia desde valores muy bajos, y logra incrementar sus valores al final del periodo. Los valores medios de ácido propiónico se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Comparación de valores medios de ácido acético, butírico y metano

Tratamientos	Acético mmol/L \pm DE	Butírico mmol/L \pm DE	Metano mmol/L \pm DE
T1 PNC	40.92 \pm 5.80 ^{ab}	0.453 \pm 0.126 ^{ab}	16.43 \pm 3.01 ^{ab}
T2 PNC	37.73 \pm 10.24 ^{bc}	0.438 \pm 0.129 ^{abc}	15.24 \pm 4.68 ^{bcd}
T3 PNC	36.13 \pm 5.35 ^{bcd}	0.416 \pm 0.157 ^{abcd}	14.99 \pm 2.68 ^{bcd}
T4 Testigo	34.59 \pm 4.07 ^{bcd}	0.452 \pm 0.126 ^{ab}	14.75 \pm 1.27 ^{bcd}
T5 PCRE	42.72 \pm 8.93 ^a	0.460 \pm 0.103 ^a	18.00 \pm 3.45 ^a
T6 PCRE	39.09 \pm 12.81 ^{ab}	0.436 \pm 0.127 ^{abcd}	15.89 \pm 5.63 ^{bc}
T7 PCRE	29.60 \pm 16.73 ^e	0.355 \pm 0.188 ^{cd}	12.40 \pm 7.01 ^f

Literales distintas entre columna indican diferencia significativa entre tratamientos y tiempo con un análisis de varianza ($P < 0.05$). DE: Desviación estándar. PNC: biopreparado de microorganismos. PCRE: probiótico comercial REVET[®].

En el análisis estadístico no hubo diferencias entre tratamientos ($P > 0.05$); sin embargo, es de considerar que los valores de ácido propiónico son los utilizados en la fórmula numérica de Moss *et al.* (2000). Para la producción de metano, tiene un coeficiente de valor reducido y de signo negativo, por lo que los valores altos de este ácido son de importancia, porque contribuyen numéricamente a la reducción en la producción de



metano. Aunque no hay significancia estadística, los tratamientos que generaron los valores más altos son el T1 PNC y T2 PNC, seguido de T5 PCRE y el T6 PCRE (tabla 3). Con valores medios desde 12.4 hasta 18.00. Por esta condición de mayor impacto en la disminución de metano, los tratamientos de PNC son de gran importancia al destacar el T1 PNC.

Existen diferencias en la producción de ácido butírico en su interacción con el tiempo ($P < 0.05$). Esto se expresa en que todos los valores disminuyen en el periodo de estudio, con excepción del T7 PCRE que presenta los valores medios más bajos e incrementa sus valores. El resto de los tratamientos presentan valores medios altos, pero con tendencia a disminuir al final del estudio. El tratamiento que más ácido butírico produjo fue T5 PCRE y después el T1 PNC; resultados que se pueden observar en la tabla 3. Con base en el planteamiento de la fórmula de Moss *et al.* (2000) (Ec 1), el tratamiento T7 PCRE es el que menores valores medios presenta, y al final del estudio mostró el menor efecto en la producción de metano, seguido del T6 PCRE, T3 PNC y T2 PNC.

En la tabla 3 se muestran los resultados de los valores de producción de metano en la parte media del estudio, por lo que no reflejan el contenido final del estudio. Los valores estimados de metano mostraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos e interacción con el tiempo. Las siglas de comparación de medias indican que la menor concentración de metano se obtiene entre el tratamiento T3 y T2 de PNC; y por el lado del PCRE, es el T6 el que inicia con mayor valor de metano; aunque al final del estudio disminuye dramáticamente; lo que indica que dicha concentración también tiene un efecto favorable en la disminución de la concentración de metano.

Los resultados obtenidos de la producción de metano que se obtuvieron estequiométricamente por medio de la ecuación descrita por Moss *et al.* (2000) en este trabajo, indican que la mayor producción de metano se vio reflejada con la adición del PCRE, y en menor cantidad con el tratamiento de PNC, al tomar en cuenta que a mayor producción de metano se tendrá más pérdida de energía a nivel ruminal y mayores gases de efecto invernadero; con ello deducimos que la adición del biopreparado de microorganismos (PNC) es más eficiente que el probiótico comercial REVET® (PCRE), debido a que en el análisis estadístico los valores estimados de metano mostraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos e interacción. Como se describió previamente, al analizar la relación molar acético propiónico (A/P) en los distintos tratamientos, se observa que a medida que esta relación es más alta, se registra una mayor producción de metano. En este aspecto de disminución sobresale el T2 PNC, como el de menor relación de A/P.



La determinación de amoníaco a nivel ruminal, se realizó obteniendo una muestra de contenido ruminal. En la tabla 4, se observan los valores medios de la concentración de nitrógeno amoniacal en el líquido ruminal por tratamiento. El análisis de medidas repetidas no mostró diferencias significativas ($P>0.05$).

Por otra parte, la concentración ideal de nitrógeno amoniacal en el rumen varía de 5 a 25 mg/dL de líquido ruminal [González et al. \(2010\)](#). En otro trabajo realizado por [Kholif et al. \(2021\)](#), manifiestan que la eficiencia microbiana máxima ocurre cuando la concentración de nitrógeno amoniacal en rumen se encuentra entre 5 y 8 mg/dL. Lo que respecta a los resultados obtenidos en este trabajo, las concentraciones de amoníaco a nivel ruminal para T1 PNC es de 6.60 mg/L (valor más alto obtenido); sigue siendo menor a las concentraciones normales antes mencionadas.

Tabla 4. Concentración de amoníaco (mg/mL±DE) en cuatro muestreos

Tratamientos	T1 PNC	T2 PNC	T3 PNC	T4 Testigo	T5 PCRE	T6 PCRE	T7 PCRE
M1	3.97±0.00 ^a	3.97±0.00 ^a	3.97±0.00 ^a	3.97±0.00 ^a	3.97±0.00 ^a	3.97±0.00 ^a	3.97±0.00 ^a
M2	6.60±0.03 ^a	4.42±1.24 ^a	3.32±4.69 ^a	3.97±1.63 ^a	5.78±0.02 ^a	3.70±0.47 ^a	2.23±1.60 ^a
M3	2.94±0.24 ^a	2.37±0.56 ^a	3.69±0.13 ^a	1.81±0.29 ^a	1.81±0.29 ^a	1.83±0.41 ^a	3.67±0.21 ^a
M4	4.35±0.33 ^a	4.22±1.45 ^a	5.52±0.59 ^a	2.91±0.15 ^a	3.49±1.34 ^a	3.88±0.90 ^a	2.80±0.53 ^a

M1: tiempo cero. M2: mes 1 de experimento. M3: mes 2 de experimento. M4: mes 4 de experimento. DE: Desviación estándar. PNC: biopreparado de microorganismos. PCRE: probiótico comercial REVET®.

En la figura 1, se presentan las curvas obtenidas de las funciones de respuesta calculadas por regresión de los datos del análisis económico, a partir de los cuatro muestreos del estudio, relacionando las concentraciones de probiótico (PNC y PCRE) con la cantidad de metano estimado. Las ecuaciones son:

Producción de metano con probiótico PCRE:

$$\text{CH}_4 = 14.5345 + 0.1643 (\text{PCRE}) - 0.007628 (\text{PCRE})^2 + 0.00005968 (\text{PCRE})^3 \quad R^2 = 0.85$$

Producción de metano con biopreparado de microorganismos (PNC):

$$\text{CH}_4 = 14.5345 - 0.1880 (\text{PNC}) + 0.0050 (\text{PNC})^2 - 0.00002709 (\text{PNC})^3 \quad R^2 = 0.85$$

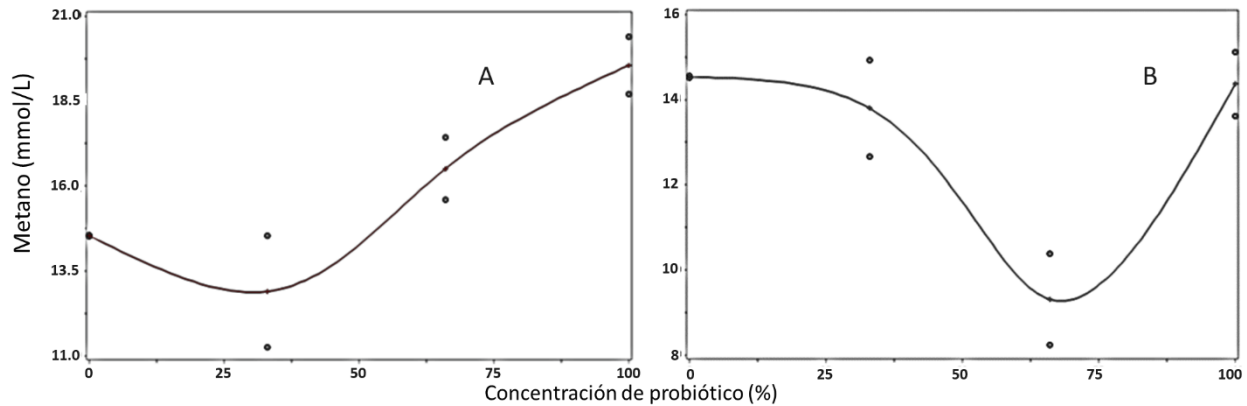


Figura 1. Curvas calculadas con las funciones de respuesta de la relación de producción de metano y la concentración de PNC (A) y el PCRE (B)

Los resultados del análisis de optimización económica se presentan en la tabla 5, que resumen la comparación económica del uso de los probióticos estudiados. Los valores de mayor ganancia económica y de menor producción de metano, se obtienen con la dosis de 70% del PCRE. En cambio, con la dosis del 90% del PNC, se obtiene su mayor ganancia de peso, pero también la mayor producción de metano; siendo una mejor opción el PCRE, aunque de menor ingreso económico. La mayor ganancia de peso y menor producción de metano se obtiene con el uso del PCRE. Los resultados indican que el mayor uso del probiótico, 70% en el PCRE y 90% en el PNC serían el mejor resultado, pero con la mayor producción de metano con el PNC. Por el contrario, si se busca la mayor ganancia de peso, sin importar las emisiones de metano, ésta se logra con valores menores del probiótico, tal como se observa en la figura 1B; donde menores concentraciones de PCRE, generan mayor emisión de metano.

Tabla 5. Valores de ganancia, producción de metano y ganancia de peso en ovinos con el uso de dos probióticos

Tratamiento	Dosis (%)	Costo variable (\$)	Metano	GP (kg)	Ingreso total	Metano (CH ₄ /kg)	GP (kg/CH ₄)
PCRE	70	167.09	9.12	25.4	747.52	0.359	2.78
PNC	90	2.169	9.27	22.74	816.59	0.438	2.28

GP: ganancia de peso. CH₄: metano. PNC: biopreparado de microorganismos. PCRE: probiótico comercial REVET®.

En la tabla 6 se muestran los valores donde se logra un mayor ingreso económico, pero una mayor emisión de metano; dicha combinación implica el uso de dosis menores de ambos probióticos. En ambos casos, el PCRE logra una mayor ganancia de peso, pero un menor ingreso, debido a su alto costo. El PNC se presenta como una opción de menor inversión económica, pero una mayor producción de metano, y no genera la mayor ganancia de peso. En términos de inversión económica, el PNC es más apropiado a las



circunstancias económicas de productores de ovinos en condiciones de sequía que utilizan una dieta de mantenimiento y baja capacidad de inversión, pero con el PCRE se pueden reducir las emisiones de metano y mayor ganancia de peso, aunque requiere de mayor inversión.

Tabla 6. Valores de ganancia, producción de metano y ganancia de peso en ovinos con el uso de dos probióticos

Tratamiento	Dosis (%)	Costo variable (\$)	Metano (mmol/l)	GP (kg)	Ingreso total	Metano (CH ₄ /kg)	GP (kg/CH ₄)
PCRE	60	143.22	9.82	25.52	775.77	0.384	2.59
PNC	75	1.687	11.43	24.21	869.96	0.472	2.11

GP: ganancia de peso. CH₄: metano. PNC: biopreparado de microorganismos. PCRE: probiótico comercial REVET[®].

La diferencia en ganancia comercial se debe a que el valor de producción del PNC es muy bajo en comparación con PCRE; sin embargo, el PCRE genera una mayor ganancia de peso y un valor de producción de metano ligeramente menor, lo que produce un índice de unidad de metano por kg de carne producido menor que el PNC. Asimismo, la eficiencia de producción de kg de carne por unidad de metano es mayor. La ventaja para el PNC es la menor inversión económica necesaria y que los resultados de producción son semejantes. Los efectos sobre la calidad de la carne pudieran favorecer el uso de PNC, aunque esto no fue evaluado. Sin embargo, bajo el criterio de menor producción de metano, con el T3 PNC, T2 PNC y con T6 PCRE, se logran las menores emisiones de metano.

CONCLUSIÓN

Se concluye que el mejor tratamiento fue T6 PCRE del biopreparado de microorganismos, ya que se observó consistencia en la producción de AGV's y menor concentración de metano; pero con una inversión mayor y menor ganancia económica. En el análisis de optimización económica, el óptimo fue de 75 al 90% en PNC, que genera mayor ganancia y cantidad de metano; el PCRE del 60 al 70% genera menor ingreso, pero menor cantidad de metano. El PNC es una opción para criadores de ovinos con menor capacidad de inversión; tal como se realiza la producción ovina en el semiárido zacatecano.

LITERATURA CITADA

BUENO CA, Lemes NH. 2008. Microorganismos Eficientes en levante de novillas Brahman bajo pastoreo semi-intensivo suplementado en la región de Palmira, Valle del Cauca. *Revista Ciencia Animal*. 1(1):17-25.

<https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1002&context=ca>



DELGADILLO-RUIZ L, Bañuelos-Valenzuela R, Gallegos-Flores P, Meza-López C, Echavarría-Cháirez F, Valladares-Carranza B. 2022. Ruminant bacteria and protozoa present in sheep supplemented with probiotics identified by counting and PCR endpoint. *Abanico Veterinario*. 12. e2021-75. <https://doi.org/10.21929/abavet2022.6>

DELGADILLO-RUIZ L, Bañuelos-Valenzuela R, Echavarría-Cháirez F, Gallegos-Flores PI, Meza-López C. 2019. Uso de extractos de plantas en la fermentación ruminal *in vitro*. *Abanico veterinario*. 9(1):1-17. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2019.917>

DELGADO FR, Barreto AG, Rodríguez TH. 2019. Efecto probiótico de *Saccharomyces cerevisiae* en la ganancia de peso de terneros Siboney de Cuba en pastoreo. *InfoCiencia*. 20(2):20-29. <https://www.redalyc.org/journal/6378/637869112009/637869112009.pdf>

ECHAVARRÍA CFG, Gutiérrez LR, Rivera RIL, Ledezma R, Bañuelos VR, Aguilera SJI, Serna PA. 2006. Influencia del sistema de pastoreo con pequeños rumiantes en un agostadero del semiárido Zacatecano: I Vegetación nativa. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 44(2):203-217.
<https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/1748>

EL-SAYED AA, Mousa SA. 2020. Effects of administration of probiotic on body growth and hematobiochemical profile in growing Barki lambs. *Comparative Clinical Pathology*. 29(1):297-303. <https://doi.org/10.1007/s00580-019-03057-z>

GALLEGOS-FLORES P, Bañuelos-Valenzuela R, Delgadillo-Ruiz L, Echavarría-Cháirez F, Meza-López C, Rodríguez-Tenorio D. 2019. Evaluación diferencial de extractos de orégano en la producción de ácidos grasos volátiles y metano durante fermentación ruminal *in vitro*. *Abanico veterinario*. 9:1-18. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2019.91>

GERBER P, Steinfeld H, Henderson B, Opio C, Mottet A, Robinson T, Falcucci A, Tempio G, MacLeod M, Vellinga T. 2017. The global livestock environmental assessment model. *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*, 22-6.
<https://www.fao.org/climatechange/42050-09ec47f2ffd4be66e383046681c07df00.pdf>

GONZÁLEZ GH, Martínez RR, Orozco AE, Perea HN, López BM, Holguín CL, Hernández HEC. 2010. Efecto del tipo de dieta y del grupo racial sobre el comportamiento digestivo en borregos: efecto del nivel de consumo y de la relación forraje, concentrado sobre el comportamiento digestivo en borregos. Colección Reportes Técnicos de Investigación. 2: 41. <http://www3.uacj.mx/DGDCDC/SP/Documents/RTI/2015/ICB/-Digestibilidad.pdf>



INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2021. Anuario Estadístico y geográfico por entidad federativa 2021.

<https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463904847>

ISLAM MR, Bilkis S, Hoque TS, Uddin S, Jahiruddin M, Rahman MM, Alhomrani M, Gaber A, Hossain MA. 2021. Mineralization of farm manures and slurries for successive release of carbon and nitrogen in incubated soils varying in moisture status under controlled laboratory conditions. *Agriculture*. 11(9), e846.

<https://doi.org/10.3390/agriculture11090846>

JOHNSON DE, Johnson KA, Ward GM, Branine ME. 2000. Ruminants and other animals. *In Atmospheric Methane*, Springer, Berlin, Heidelberg. Pp. 112-133.

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-04145-1_8

KHATTAB M, Abdel-Wahed AM, Khattab AS, Anele UY, El-Keredy A, Zaher M. 2020. Effect of dietary probiotics supplementation on intake and production performance of ewes fed Atriplex hay-based diet. *Livestock Science*. 237, e104065.

<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104065>

KYAN T, Shintani M, Kanda S, Sakurai M, Ohashi H, Fujisawa A, Pongdit S. 1999. Kyusei nature farming and the technology of effective microorganisms. *Asia-Pacific Natural Agriculture Network*. <http://www.emturkey.com.tr/eskisite/TR/dosya/1-679/h/manuel-book.pdf>

KHOLIF AE, Hassan AA, El Ashry GM, Bakr MH, El-Zaiat HM, Olafadehan OA, Sallam SMA. 2021. Phytogenic feed additives mixture enhances the lactational performance, feed utilization and ruminal fermentation of Friesian cows. *Animal Biotechnology*. 32(6):708-718. <https://doi.org/10.1080/10495398.2020.1746322>

LIMA PDMT, Crouzoulon P, Sanches TP, Zabré G, Kabore A, Niderkorn V, Hoste H, Amarante AFTD, Costa-Júnior LM, Abdalla AL, Louvandini H. 2019. Effects of *Acacia mearnsii* supplementation on nutrition, parasitological, blood parameters and methane emissions in Santa Inês sheep infected with *Trichostrongylus colubriformis* and *Haemonchus contortus*. *Experimental parasitology*. 207, e107777.

<https://doi.org/10.1016/j.exppara.2019.107777>

LÓPEZ Y, Arece J, Ojeda F, Molina M. 2015. Efecto de la inclusión en la dieta del probiótico Sorbifauna sobre los crecimientos posdestete de ovinos estabulados. *Pastos y Forrajes*. 38(2):202-206. <http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v38n2/pyf08215.pdf>



MARKOWIAK P, Ślizewska K. 2018. The role of probiotics, prebiotics and synbiotics in animal nutrition. *Gut Pathogens*. 10(1):1-20.

<https://gutpathogens.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13099-018-0250-0>

MOSS AR, Jouany JP, Newbold J. 2000. Methane production by ruminants: Its contribution to global warming. *Annales de zootechnie*. 49(3): 231-253.

<https://doi.org/10.1051/animres:2000119>

MOLINA A. 2019. Probióticos y su mecanismo de acción en alimentación animal. *Agronomía Mesoamericana*. 30(2):601-611. <https://doi.org/10.15517/am.v30i2.34432>

PAGANONI B, Rose G, Macleay C, Jones C, Brown DJ, Kearney G, Ferguson M, Thompson AN. 2017. More feed efficient sheep produce less methane and carbon dioxide when eating high-quality pellets. *Journal of Animal Science*. 95(9):3839-3850.

<https://doi.org/10.2527/jas2017.1499>

SAS, 2021. Institute Inc, "SAS software 9.3", en SAS Institute, Cary, NC, USA.

<https://support.sas.com/documentation/onlinedoc/base/procstat93m1.pdf>

SUÁREZ-MACHÍN C, Guevara-Rodríguez CA. 2017. Levadura *Saccharomyces cerevisiae* en la alimentación de rumiantes. Revisión bibliográfica. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*. 51(2): 21-30.

<https://www.redalyc.org/pdf/2231/223154251004.pdf>

WANAPAT M, Kang S, Polyorach S. 2013. Development of feeding systems and strategies of supplementation to enhance rumen fermentation and ruminant production in the tropics. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 4(1):1-11.

<https://jasbsci.biomedcentral.com/articles/10.1186/2049-1891-4-32>

ZHOU Z, Meng Q, Yu Z. 2011. Effects of methanogenic inhibitors on methane production and abundances of methanogens and cellulolytic bacteria in in vitro ruminal cultures. *Applied and Environmental Microbiology*. 77(8):2634-2639.

<https://doi.org/10.1128/AEM.02779-10>

[Errata Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>