
MEMORIAS



XXXVII REUNIÓN CIENTÍFICA ANUAL DE LA ASOCIACIÓN PERUANA DE PRODUCCIÓN ANIMAL



XXXVII REUNIÓN CIENTÍFICA ANUAL DE LA ASOCIACIÓN PERUANA DE PRODUCCIÓN ANIMAL

DEL 22 AL 24 DE OCTUBRE DE 2014

ABANCAY

Editor

Dr. Nilton César Gómez Urviola

Editor adjunto

M.V.Z. Mauro León Curillo Tacuri

Colaboran:

Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac (UNAMBA)

Asociación Peruana de Producción Animal (APPA)

MITIGACIÓN DE LAS EMISIONES DE METANO ENTÉRICO EN VACAS LECHERAS MEDIANTE LA SUPLEMENTACIÓN DE CONCENTRADO FIBROSO

Bernardo Roque¹, Ángel Canales¹, José Luis Bautista¹, Marcelino Jorge Aranibar¹, José Amadeo Flores¹, Leonidas Ávalos¹, Rolando Daniel Rojas¹, Nubia Lilia Catacora¹, Regina Sumari¹, Teodosio Huanca², Policarpo Catacora², César Pinares³.

¹ Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Av. Floral 1153, Ciudad Universitaria, Telefax 051-366194.

² Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Estación Experimental Illpa.

³ Grasslands Research Centre, AgResearch Limited, Palmerston North 4442, New Zealand.

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue evaluar la posibilidad de mitigar las emisiones de metano entérico (CH₄) en vacas lecheras mediante la suplementación de concentrado fibroso en la alimentación, durante el período seco del año; para lo cual, se utilizó una muestra de 36 vacas lecheras en lactación, distribuidas en dos grupos equivalentes de 18 vacas. La alimentación de las vacas estuvo conformada por pastos cultivados de la asociación alfalfa y dactilis, heno de avena y ensilado de avena, y la suplementación de concentrado fibroso en el grupo experimental. El concentrado fibroso se elaboró a partir de forrajes y residuos fibrosos procesados mecánicamente (avena, totora, alfalfa, broza de cañigua) a un tamaño de partícula de 12mmØ, en mezcla con algunos ingredientes molidos (granos de descarte, tortas de algodón y soya, harina de pescado, melaza de caña, sal común y suplementos de vitaminas y minerales®). Las emisiones de CH₄ entérico se estimaron a través de modelos de predicción. Los resultados muestran que las vacas suplementadas con 4Kg/d de concentrado fibroso lograron mayor ganancia de peso vivo (0.291±0.124 vs. 0.132±0.096 Kg/d), mejor condición corporal (3.34±0.2 vs. 2.78±0.2) y mayor producción de leche (10.032±1.425 vs. 7.973±1.709 Kg/d de LCG4%), y menores emisiones de CH₄ entérico (2.005±0.242 vs. 2.406±0.328 Mol/Kg de LCG4%), con relación a las vacas alimentadas tradicionalmente con forrajes enteros. A partir de los resultados se concluye que la suplementación de concentrados fibrosos en la alimentación incrementa la productividad animal y disminuye la intensidad de las emisiones de CH₄ entérico.

PALABRAS CLAVES: concentrado fibroso, metano entérico, mitigación, vacas lecheras

ABSTRACT

The objective was to evaluate the possibility of mitigating emissions of enteric methane (CH₄) in dairy cows through supplementation of fibrous concentrate feed during the dry period of the year; for which, a sample of 36 lactating dairy cows, divided into two equal groups of 18 cows was used. Feeding cows consisted of alfalfa and dactilis cultivated grasses association, oat hay and oat silage, and fibrous concentrate supplementation in the experimental group. The fibrous concentrate was produced from waste fibrous forages and mechanically processed (oats, totora, alfalfa, and cañigua straw) to a particle size of 12mmØ, mixed with some ground ingredients (discard grains, cotton and soybean meal, fish meal, molasses, salt, and vitamin and minerals). Enteric CH₄ emissions were estimated by predictive models. The results show that cows supplemented with 4 kg/d of fibrous concentrate shown more body weight gain (0.291±0.124 vs. 0.132±0.096 kg/d), better body condition (3.34±0.2 vs. 2.78±0.2) and increased milk production (10.032±1.425 vs. 7.973±1.709 kg/d de FCM4%) and lower enteric CH₄ emissions (2.005±0.242 vs. 2.406±0.328 Mol/kg FCM4%), compared to cows fed traditionally integer fodder. From the results it is concluded that supplementation of fibrous concentrates in feeding increases animal productivity and decreases the intensity of enteric CH₄ emissions.

KEYWORDS: enteric methane, fibrous concentrate, mitigating, mountain livestock

INTRODUCCIÓN

El metano (CH_4) se ha convertido en foco de la atención mundial debido al alarmante incremento de la concentración atmosférica, causando la crisis ambiental del planeta y la alteración de los ecosistemas terrestres. El CH_4 , después del dióxido de carbono (CO_2), es el segundo gas de efecto invernadero más importante, con un potencial de calentamiento global de 25 en un horizonte de 100 años, que contribuye con el 20% de la fuerza radiativa global (Forster et al., 2007). Las mayores fuentes de CH_4 son los humedales naturales y las actividades antropogénicas (Yusuf et al., 2012); con una emisión global anual de 613Tg, de los cuales 337Tg corresponden a las emisiones antropogénicas (Kirschke et al., 2013) y 80Tg al ganado rumiante (Ellis et al., 2007).

El CH_4 entérico es el gas que eliminan normalmente los animales ruminantes como producto de su proceso digestivo, constituyendo pérdida de energía que afecta la productividad animal y contaminación que afecta la salud ambiental (Pinares et al., 2009; Jiao et al., 2013). La magnitud de las pérdidas puede variar de 2 a 12% de la energía bruta consumida en el ganado vacuno, dependiendo del tipo de dieta (Johnson y Johnson, 1995). Los vacunos alimentados con pastos producen 0.23 Kg de CH_4 /d, equivalente al 8.1% de la energía bruta consumida, mientras que los mismos animales alimentados con concentrados producen 0.07 Kg de CH_4 /d, equivalente al 2.1% de la energía bruta consumida (Harper et al., 1999), evidenciando que las dietas de baja calidad en la alimentación cuadruplican las emisiones de CH_4 entérico.

La alimentación tradicional del ganado vacuno en altura está conformada por pastos y forrajes maduros de alto contenido en fibra, altamente metanogénica, con impacto negativo sobre la productividad animal y la salud ambiental (Doreau et al., 2011). El Dpto. de Puno, con sus 131,555 unidades agropecuarias que explotan 669,200 cabezas de ganado vacuno (MINAG, 2010), estaría produciendo 46.8t de CH_4 entérico por día o 17.1 Tg/año, lo cual constituye un grave problema ambiental. El protocolo de Kyoto ha encargado a los países la misión de mitigar en 5% las emisiones de CH_4 para el año 2010 (UNO, 1998); sin embargo, muy poco se ha avanzado en este tema y menos se ha hecho algo en los sistemas agropecuarios ubicados en las grandes altitudes.

La seguridad alimentaria es una de las mayores preocupaciones del mundo, debido a que para el año 2050, la actual población de 7 billones incrementará a 9 billones de personas, y junto con esta, la demanda de alimentos (FAO, 2009). La ganadería, después de la agricultura, es la segunda fuerza que impulsa la seguridad alimentaria y el desarrollo sostenible de los pueblos, a través del uso y transformación de los recursos en leche, carne y despojos para la alimentación humana (FAO, 2011; Smith et al., 2013); sin embargo, esa seguridad alimentaria, tiene un alto costo ambiental debido a que (impulsa) el incremento del número de animales y las emisiones de CH_4 entérico (Yusuf et al., 2012), por lo que urge la necesidad de buscar las opciones de mitigación a fin de restaurar la salud ambiental (Tian et al., 2013).

Los estudios han mostrado una diversidad de estrategias para disminuir las emisiones de CH_4 entérico, pero con limitadas opciones de aplicación práctica en los sistemas agropecuarios andinos. La mejora de la dieta del ganado parece que podría ser una opción posible para disminuir las emisiones de CH_4 entérico (Boadi et al., 2004; Hristov et al., 2013; Ingale et al., 2013; Knapp et al., 2014). Los concentrados a base de granos o subproductos (Farmer et al., 2001; Lovett et al., 2005; Mc Geough et al., 2010; Doreau et al., 2011), el procesamiento de forrajes y el uso de concentrados fibrosos en la alimentación disminuyen también la intensidad de las emisiones de CH_4 entérico, mejorando al mismo tiempo la productividad animal (Martin et al., 2010; Roque et al., 2012); sin embargo, falta desarrollar mayor investigación sobre el tema.

A partir de esa base, se ha ensayado una estrategia de suplementación de concentrado fibroso en la alimentación de vacas lecheras con el objetivo de evaluar su efecto en la productividad y las emisiones de CH_4 entérico, durante la época seca del año, en condiciones de altura.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ámbito experimental

El estudio se realizó en la Estación Experimental Agraria Illpa del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), ubicada en el Km 22 de la carretera Puno-Juliaca, distrito de Paucarcolla, provincia y Dpto. de Puno, a una altitud de 3815 metros, con una temperatura del aire de $9.57 \pm 1.63^\circ\text{C}$ y una precipitación pluvial de 1.17 ± 0.35 mm correspondientes a los meses de setiembre a noviembre del año 2012. Los análisis químicos de los forrajes se realizaron en los laboratorios de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

Animales

Para el estudio se utilizó una muestra de 36 vacas lecheras Brown Swiss de primer, segundo y tercer parto, de 460.92 ± 51.69 Kg de peso, 2.65 ± 0.16 puntos de condición corporal y una producción diaria de 9.162 ± 1.495 Kg de leche corregida para grasa (LCG4%), distribuidas al azar en dos grupos de 18 vacas. Los requerimientos energéticos de las vacas se estimaron factorialmente con modelos de predicción (mantenimiento, actividad física, termorregulación, ganancia de peso y producción de leche), ajustado para sistema mixto (pastoreo y estabulación).

Mantenimiento:

$$\text{ENL}_M, \text{Kcal/día} = 96 \text{ Kcal/W}_{\text{Kg}}^{0.75} \text{ (Ellis et al., 2006a)}$$

Actividad física: (8 horas de pastoreo)

$$\text{ENL}_{AF}, \text{Kcal/d} = 1.2 \text{ Kcal} \times h \times W^{0.75} \text{ (Rochinotti, 1998)}$$

Ganancia de peso:

$$\text{ENL}_G, \text{Mcal/d} = 5.5 \text{ Mcal/Kg de ganancia de peso vivo (NRC, 2001)}$$

Producción de leche:

$$\text{ENL}_P, \text{Kcal/d} = 749 \text{ Kcal} \times \text{Kg LCG 4\% (NRC, 1989)}$$

Donde: ENL, energía neta de lactación; M, mantenimiento; W, peso vivo de las vacas (Kg); AF, actividad física debida a caminata y pastoreo; h, horas; G, ganancia de peso; LCG, leche corregida a grasa (4%).

La temperatura crítica inferior (TCI) de las vacas se estimó con las ecuaciones de Hamada (1971):

$$\text{TCI} = 17 - 0.24 Y/1.8$$

$$Y = 4.4X + 113$$

Donde:

Y es la tasa metabólica a 17°C ($\text{Kcal/W}^{0.75}/\text{d}$) y X la producción de leche corregida a grasa (LCG 4%) expresada en Kg.

A partir de las ecuaciones de Hamada (1971) y la producción inicial de leche del hato (9.162 ± 1.495 Kg/d de LCG 4%), se estima que la temperatura crítica inferior (TCI) de las vacas fue de -3.44°C , mientras que la temperatura crítica superior (TCS) fue el valor (25.5°C) sugerido por Berman et al. (1985), por lo que el requerimiento energético de termorregulación fue ignorado, ya que durante el período experimental, la temperatura media del aire fue de $9.57 \pm 1.63^\circ\text{C}$, la misma que está dentro del rango termoneutral calculado. Los demás requerimientos nutricionales fueron estimados a partir de las Tablas del NRC (2001). Las vacas fueron desparasitadas con mezcla antihelmíntica de albendazole al 15% + minerales®, indicada para nemátodos, céstodos y tremátodos, conforme al programa sanitario de la Estación Experimental.

Alimentos y alimentación

Los alimentos para las vacas estuvieron conformados por pastos de la asociación alfalfa (*Medicago sativa*) y dactilis (*Dactylis glomerata*) de disponibilidad limitada, forrajes (heno de avena y ensilado de avena). El grupo experimental fue alimentado además, con concentrado fibroso suplementario. El concentrado fibroso se elaboró con henos de avena (*Avena sativa*), totora (*Schoenoplectus tatora*), alfalfa (*Medicago sativa*) y broza

de cañigua (*Chenopodium pallidicauli*), procesados mecánicamente con molino/picador forrajero Trapp Modelo TRF 800 de 2 cuchillas y 24 martillos, a través de una zaranda de 12 mm Ø (Heinrichs et al., 1999), y mezclados con otros insumos molidos (granos de descarte, tortas de algodón y soya, harina de pescado, melaza de caña, sal común y suplementos de vitaminas y minerales®) (Tabla 1). La alimentación de las vacas estuvo sujeta al programa de la Estación Experimental, en sistema mixto, con animales al pastoreo itinerante y suplementación de forrajes y concentrado fibroso. La fase de acostumbramiento al concentrado fibroso fue de 7 días y la fase de alimentación, 90 días.

Tabla 1. Concentrado fibroso destinado para la alimentación de vacas lecheras en lactación. Estación Experimental Agraria Illpa, INIA.

Alimentos	Mezcla, %	Valor nutricional	
Heno de avena	30.00	H°, % máx.	8.00
Heno de totora	25.00	— En 100% de materia seca —	
Heno de alfalfa	5.00	EB, Mcal/Kg MS	4.47
Broza de cañigua	5.00	NDT, %	66.3
Grano de avena (descarte)	15.00	EM, Mcal/Kg MS	1
Grano de cebada (descarte)	10.00	ENL, Mcal/Kg MS	2.46
Torta de algodón	4.00	PC, % mín.	1.56
Torta de soya	2.00	FDN, %	12.4
Harina de pescado	2.90	CNF, %	48.0
Melaza de caña	0.50	EE, %	29.2
Sal común	0.40	Calcio, % mín.	7
Suplemento comercial® mineral	0.20	Fósforo total, % mín.	2.96
Total	100.00	Sodio, % mín.	0.54
			0.36
			0.20

Mezcla ajustada con el formulador Solver. H° = humedad, EB = energía bruta, NDT = nutrientes digestibles totales, EM = energía metabolizable, ENL = energía neta de lactación, PC = proteína cruda, FDN = fibra detergente neutro, CNF = carbohidratos no fibrosos, EE = extracto etéreo.

METODOLOGÍA

Determinación de la productividad animal

La productividad animal se determinó a través de la ganancia de peso vivo y condición corporal, así como la producción de leche y contenido de grasa en la leche. El peso vivo de las vacas se determinó por pesaje en balanza mecánica de plataforma (1000/1 Kg), cada 30 días. La condición corporal, por examen (inspección y palpación) de las reservas de grasa de los animales (espalda y pelvis), con adecuación a la escala de 1 a 5 (1 = emaciada, 2 = flaca, 3 = promedio, 4 = gorda y 5 = obesa) de vacas lecheras Holstein (Edmonson et al., 1989; Ferguson et al., 1994), sujeta a la apreciación de dos evaluadores entrenados. La producción de leche de las vacas se determinó en forma individual, por ordeño manual en balde, dos veces por día (mañana y tarde), pesaje de la leche en balanza tipo reloj (10/0.1 Kg) y recepción en porongos distintos para cada grupo de vacas, durante 90 días. El contenido de grasa en la leche se determinó por

butirometría, a partir de muestras de leche (250ml) colectadas década porongo, cada 14 días, con 7 muestreos.

Estimación de las emisiones de CH₄ entérico

Las emisiones de CH₄ entérico se estimaron mediante el modelo de predicción sugerido por Moraes et al. (2014), utilizando como datos de entrada la ingestión de materia seca (IMS) y el contenido (% de la materia seca) de fibra detergente neutro (FDN) y extracto etéreo (EE) de la dieta consumida por los animales.

$$\text{CH}_4 \text{ (MJ/d)} = 0.796 \times \text{IMS (Kg/d)} + 0.157 \times \% \text{FDN} - 0.219 \times \% \text{EE} - 1.285$$

El consumo de materia seca se determinó por medición de las cantidades de forrajes y concentrado fibroso ofrecidos en comedero y la estimación de las cantidades de pastos cultivados consumidos en pastoreo. Dado que el consumo de forrajes y concentrado fibroso fue total, el consumo de pastos corresponde a la diferencia entre la energía requerida por los animales y la energía consumida en los forrajes y concentrado fibroso, dividido por el contenido de energía neta de lactación de los pastos (NRC, 1989; Macoon et al., 2003; Smit et al., 2005). Por consiguiente, la ingestión de materia seca (IMS) corresponde a la suma de la ingestión de materia seca en heno (H), ensilado (E), concentrado fibroso (C) y pastos (P).

$$\text{IMS} = \text{IMS}_H + \text{IMS}_E + \text{IMS}_C + \text{IMS}_P$$

Las emisiones de CH₄ entérico se expresaron en cantidades absolutas (moles/día), proporción del consumo (Moles/Kg IMS) o % MS o energía consumida) y como intensidad de las emisiones (moles/unidad de producto) (Leslie et al., 2008).

Análisis estadístico

El efecto de la suplementación de concentrado fibroso sobre la productividad animal y las emisiones de metano entérico) se analizó mediante la comparación de medias, sujeta a prueba de hipótesis, a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Peso vivo y condición corporal

Las vacas iniciaron el experimento con similares pesos y finalizaron también con similares pesos entre grupos; sin embargo, el grupo experimental logró mayor ($p < 0.001$) ganancia de peso (0.291 ± 0.124 vs. 0.132 ± 0.096 Kg/d) y mayor condición corporal (3.34 ± 0.2 vs. 2.78 ± 0.2 puntos) que el grupo control (Tabla 2). Todas las vacas del grupo experimental ganaron peso vivo y condición corporal, y en consecuencia, balance energético positivo, mientras que solo algunas vacas del grupo control ganaron peso y condición corporal, con algunas que inclusive perdieron peso y condición corporal.

Las vacas cuya condición corporal es próxima a 3, acumulan 5.5 Mcal de energía neta de lactación (ENL) por cada Kg de ganancia de peso vivo (NRC, 2001); por consiguiente, la retención de ENL en el cuerpo de las vacas fue significativa ($p < 0.001$) (1.599 ± 0.679 vs. 0.727 ± 0.529 Mcal/d) (Tabla 2). Estos resultados evidencian que la suplementación de concentrado fibroso tuvo efecto positivo sobre el peso vivo y la condición corporal, y en consecuencia sobre el balance de energía.

Tabla 2. Efecto de la suplementación de concentrado fibroso sobre la ganancia de peso vivo y la condición corporal de vacas lecheras Brown Swiss. Estación Experimental Agraria Illpa INIA, Puno.

Tratamiento	Con supl.	Sin supl.	(P _{Value})
	Período de 90 días		
Peso inicial	458.8±46.3	462.2±57.7	0.8470
Peso final	484.9±47.2	474.1±58.3	0.5420
Ganancia de peso, Kg/d	0.291±0.124	0.132±0.096	< 0.001
Retención de energía (ENL _C , Mcal/d)	1.599±0.679	0.727±0.529	< 0.001
Condición corporal	3.34±0.2	2.78±0.2	<0.0001

Ganancia de peso vivo: 5.5 Mcal ENL/Kg de ganancia de peso vivo (NRC, 2001)
ENL_C = retención de energía neta de lactación en cuerpo (balance).

Los modelos dinámicos sobre el rendimiento de la vaca lechera indican que el balance (o retención) de energía es la diferencia entre el consumo de energía neta y la energía neta utilizada para el mantenimiento, crecimiento y producción de leche (Banos et al., 2005; Ellis et al., 2006b; Friggens et al., 2007). Las vacas lecheras, por lo general pierden peso y condición corporal durante la lactación, con mayor severidad en el inicio de lactación, debido a la movilización de sus reservas de grasa para sostener las altas demandas de energía que le impone la producción de leche, desarrollando un estado de balance energético negativo (Butler et al., 2006). El balance energético negativo se manifiesta sobre el peso vivo y la condición corporal (Jílek et al., 2008; Berry et al., 2011) y está asociado con el rendimiento productivo y reproductivo de las vacas (Roche et al., 2007; Thorup et al., 2012). En tal sentido, la suplementación de concentrado fibroso se manifestó en forma positiva sobre el incremento del peso vivo y la condición corporal, posibilitando balance energético positivo de las vacas.

Producción de leche y contenido de grasa en la leche

Las vacas iniciaron el experimento con similar producción de leche (LCG 4%) entre grupos (8.984±1.465 vs. 9.341±1.544 Kg/d) y finalizaron con diferente (p<0.001) producción (10.032±1.425 vs. 7.973±1.709 Kg/d), con un incremento significativo (p<0.0001) de 2.416 Kg/d LCG4%, a favor del grupo experimental (Tabla 3).

Tabla 3. Efecto de la suplementación de concentrado fibroso sobre la producción de leche corregida a grasa (LCG 4%) y contenido de grasa en la leche de vacas lecheras Brown Swiss. (Período 90 días, n = 18 vacas, n = 7 para grasa en la leche).

Variables	Con suplem.	Sin suplem.	(P _{Value})
Producción inicial, LCG Kg/d)	8.984±1.465	9.341±1.544	0.4815
Producción final, (LCG Kg/d)	10.032±1.425	7.973±1.709	0.0004
Incremento en la producción, Kg/d	1.048±0.885	-	< 0.0001
Grasa en la leche, %	3.69±0.02	3.75±0.04	0.0035
Grasa en la leche, g/d (LCG, 4%)	401.3 ± 57.0	318.9 ± 68.3	0.0004

El incremento de la producción de leche fue de 0.654 Kg por cada Kg de materia seca de concentrado fibroso consumido, el mismo que fue menor a 0.860 Kg (Reis y Combs,

2000) o 1.360 Kg/Kg observado con suplementación de concentrado a base de granos (Bargo et al., 2002). Este incremento se atribuye al menor consumo de materia seca de pastos por cada Kg de materia seca de concentrado suplementario. A este fenómeno se le conoce como tasa de sustitución (TS), expresado como, $TS (Kg/Kg) = (IMS \text{ de pastos de vacas sin suplemento} - IMS \text{ de pastos de vacas con suplemento}) / IMS \text{ de suplemento}$ y corresponde a la disminución del consumo de materia seca de pastos por cada Kg de materia seca de concentrado consumido (Bargo et al., 2003).

La tasa de sustitución expresa las variaciones en la producción de leche (Kg de leche/Kg de suplemento) por efecto de la suplementación (Stockdale, 2000; Bargo et al., 2002). Según Bargo et al. (2003), la suplementación de 10 Kg/d de materia seca de concentrado, incrementa en 24% el consumo de materia seca, en 22% la producción de leche y en 4% el porcentaje de proteína en vacas lecheras al pastoreo, pero disminuye en 6% el porcentaje de grasa en la leche, con un incremento lineal de 1 Kg de leche por cada Kg de concentrado suplementario.

La energía es el primer factor limitante de la producción de leche en vacas lecheras al pastoreo (Kolver, 2003); por consiguiente, los forrajes procesados mecánicamente y los granos de descarte incluidos han aportado una mayor cantidad de carbohidratos (fibrosos y no fibrosos), los mismos que han servido de sustratos energéticos para los microorganismos del rumen. La fermentación de estos sustratos genera una mayor cantidad de ácidos grasos volátiles, con una estrecha relación molar de acetato y propionato. El propionato es el precursor de la glucosa, y esta es precursora de lactosa (Kuhn et al., 1980). El propionato promueve también una mayor captura de amoníaco ruminal y una mayor biosíntesis de proteína microbiana, lo cual se expresa con una mayor producción de leche (Bauman et al., 2006). Además, la mayor concentración de glucosa plasmática por efecto de la suplementación mejora el balance energético del animal y disminuye la movilización de la grasa corporal (Pedernera et al., 2008), incrementa también la secreción de insulina, la cual promueve una mayor biosíntesis de tejidos corporales, expresándose con una mayor ganancia de peso (Wanapat et al., 2013).

El contenido de grasa en la leche disminuyó ($p < 0.01$) en 0.06% por efecto de la suplementación de concentrado fibroso (3.69 ± 0.02 vs. $3.75 \pm 0.04\%$); sin embargo, esa disminución fue compensada ($p < 0.001$) con la mayor producción de grasa (401.3 ± 57.0 vs. 318.9 ± 68.3 g/d) a favor de la suplementación. Estos resultados concuerdan con datos de otros estudios (Bargo et al., 2002), donde los forrajes procesados mecánicamente han disminuido el contenido de grasa en la leche, como consecuencia de una menor masticación, secreción de saliva y pH ruminal (O'Dell et al., 1968).

Emisiones de metano entérico (CH₄)

Las emisiones de CH₄ entérico, expresadas en unidades absolutas (Mol/d) fueron diferentes entre grupos ($p < 0.05$); también fueron diferentes ($p < 0.05$) las emisiones con relación a la ingestión de materia seca (Mol/Kg IMS), siendo mayor las emisiones del grupo experimental; sin embargo, cuando las emisiones se expresaron en términos de productividad (Mol/Kg de producto), la diferencia fue significativa ($P < 0.001$) entre grupos (Tabla 4). Las vacas del grupo experimental eliminaron 16.7% menos CH₄ entérico por cada Kg de leche corregida por grasa que las vacas del grupo control, evidenciando el efecto positivo de la suplementación de concentrado fibroso sobre la intensidad de las emisiones de CH₄ entérico. Estos resultados están en el rango de las emisiones de CH₄ entérico del ganado vacuno (Johnson y Johnson, 1995) y concuerdan con relación a la productividad animal (Leslie et al., 2008).

Tabla 4. Estimación de las emisiones de metano entérico (CH₄) en vacas lecheras con y sin suplementación de concentrado fibroso (muestra de 18 vacas por grupo).

Variables	Con suplem.	Sin suplem.	(P _{Value})
Ingestión de materia seca, Kg/d	13.804±1.117	12.631±1.638	0.0169
Emisiones de CH ₄ entérico			
CH ₄ , Mol/d	19.808±0.998	18.679±1.463	0.0106
CH ₄ , Mol/Kg IMS	1.439±0.048	1.488±0.076	0.0256
CH ₄ , Mol/Kg LCG (4%)	2.005±0.242	2.406±0.328	0.001
CH ₄ , Mol/Mcal ENL _{CL}	2.197±0.201	2.867±0.388	<0.0001
CO ₂ e, Mol/Kg LCG (4%)	50.123±6.038	60.156±8.200	<0.001

IMS = ingestión de materia seca de las vacas, LCG = leche corregida por grasa.

ENL = energía neta de lactación.

C = retención de energía en cuerpo (balance), L = retención de energía en leche.

CO₂e = equivalente de dióxido de carbono.

La disminución de las emisiones por efecto de la suplementación de concentrado fibroso se atribuye al incremento de la producción de leche. Los resultados concuerdan con estudios similares (Benchaar et al., 2001; Lovett et al., 2005), los mismos que pueden tener implicancias positivas en la ganadería de altura puesto que puede constituirse en una estrategia dietaria para incrementar el rendimiento productivo de las vacas y disminuir las emisiones de CH₄ entérico.

En términos absolutos, la suplementación incrementa las emisiones de CH₄ entérico, en una relación directa con el incremento de la producción de leche; sin embargo, esas emisiones disminuyen por cada unidad de producto (Tabla 4), indicando que la producción de metano está en relación inversa con la producción de leche, lo cual es lógico dado que el requerimiento energético de mantenimiento de los animales es el mismo independientemente de su nivel de producción; por consiguiente, la producción de metano que deriva del mantenimiento es la misma para cualquier animal de un peso dado.

Como se puede notar, las vacas que producen más leche consumen más materia seca pero no en la misma proporción. Puesto que las necesidades de mantenimiento son las mismas, las vacas que producen más llevan una mayor carga de leche con el mismo requerimiento de mantenimiento, disminuyendo la producción de metano por cada kilogramo de leche producido (Machmüller y Clark, 2006). El concentrado fibroso promueve una mayor respuesta en ganancia de peso y producción de leche asociada con menores emisiones de metano entérico por unidad de producto que las dietas tradicionales de forrajes, posibilitando que los animales logren mayores rendimientos productivos en menores períodos de tiempo con menor contaminación.

La mayoría de los alimentos ofrecidos a los animales fueron forrajes cosechados maduros de alto contenido de fibra detergente neutro y bajo contenido de proteína cruda, particularmente gramíneas. Los forrajes maduros tienen efectos sobre el valor nutricional (Sutton et al., 2000); sin embargo, el procesamiento de los forrajes y la inclusión de algunos ingredientes energéticos, proteicos y fuentes de minerales incrementó la producción en 2.416 Kg de LCG4% y disminuyó las emisiones de CH₄ entérico en 0.401 Mol/Kg de LCG producida, lo cual evidencia que esta estrategia dietaria puede ayudar en el incremento de la productividad animal y la disminución de la contaminación ambiental.

Finalmente, el equivalente de dióxido de carbono (CO₂e) es la medida estándar de uso para la comparación de las emisiones de los gases de efecto invernadero con base a su potencial de calentamiento global. Corresponde a la cantidad de CO₂ que puede causar la misma fuerza radiativa que un gas de efecto invernadero en un horizonte de tiempo dado (IPCC, 1996). Considerando la fuerza radiativa del metano en 25 (Forster et al., 2007), las emisiones de metano entérico de las vacas lecheras ascienden a

50.123±6.038 Mol/Kg LCG (4%) en las vacas del grupo experimental y 60.156±8.200 Mol/Kg LCG4% en las vacas del grupo control, para un horizonte de 100 años, siendo la diferencia significativa ($p < 0.001$) (Tabla 4). Estos aspectos requieren de mayor investigación en las condiciones ambientales de sierra, a fin de disminuir las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI). Las investigaciones en las distintas áreas han mostrado mejoras significativas en la producción de las vacas lecheras, con granjas de manejo intensivo que tienen emisiones tan bajas de GEI como 1 Kg de equivalentes de CO₂ (CO₂e)/Kg de leche corregida a energía (LCE), comparada con >7 Kg de CO₂e/Kg de LCE de los sistemas extensivos (Knapp et al., 2014).

CONCLUSIONES

La suplementación de concentrado fibroso (4Kg/d) mejora la ganancia de peso vivo (0.291±0.124 vs. 0.132±0.096 Kg/d), la condición corporal (3.34±0.2 vs. 2.78±0.2) y la producción de leche (10.032±1.425 vs. 7.973±1.709 Kg/d de LCG4%); y disminuye las emisiones de CH₄ entérico (2.005±0.242 vs. 2.406±0.328 Mol/Kg de LCG4%), con relación a la alimentación tradicional, respectivamente. A partir de estas evidencias, se concluye que la suplementación de concentrado fibroso, incrementa la productividad animal y disminuye la intensidad de las emisiones de metano entérico (CH₄) en vacas lecheras, siendo una estrategia de mitigación posible de realizar.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYTEC) por el apoyo económico (Contrato N° 361-2012-CONCYTEC-OAJ); al Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) de Puno, Estación Experimental Agraria Illpa y a la Universidad Nacional del Altiplano, por el apoyo logístico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Banos, G., M. P. Coffey, and S. Brotherstone. 2005. Modeling daily energy balance of dairy cows in the first three lactations. *J. Dairy Sci.*, 88:2226-2237.
- Bargo, F., L. D. Muller, E. S. Kolver, and J. E. Delahoy. 2003. Invited review: Production and digestion of supplemented dairy cows on pasture. *J. Dairy Sci.*, 86:1-42.
- Bargo, F., L. D. Muller, J. E. Delahoy, and T. W. Cassidy. 2002. Milk response to concentrate supplementation of high producing dairy cows grazing at two pasture allowances. *J. Dairy Sci.*, 85:1777-1792.
- Bauman, D. E., I. H. Mather, R. J. Wall, and A. L. Lock. 2006. Major advances associated with the biosynthesis of milk. *J. Dairy Sci.*, 89:1235-1243.
- Benchaar, C., C. Pomar, and J. Chiquette. 2001. Evaluation of dietary strategies to reduce methane production in ruminants: A modelling approach. *Can. J. Anim. Sci.*, 81:563-574.
- Berman, A., Y. Folman, M. Kaim, M. Mamen, Z. Herz, D. Wolfenson, A. Arieli, and Y. Graber. 1985. Upper critical temperatures and forced ventilation effects for high-yielding dairy cows in a subtropical climate. *J. Dairy Sci.*, 68:1488-1495.
- Berry, D. P., F. Buckley, and P. Dillon. 2011. Relationship between live weight and body condition score in Irish Holstein-Friesian dairy cows. *Irish J. Agric. and Food Res.*, 50: 141-147.
- Boadi, D., C. Benchaar, J. Chiquette, and D. Massé. 2004. Mitigation strategies to reduce enteric methane emissions from dairy cows: Review. *Can. J. Anim. Sci.*, 84:319-335.
- Butler, S. T., S. H. Pelton, and W. R. Butler. 2006. Energy balance, metabolic status, and the first postpartum ovarian follicle wave in cows administered propylene glycol. *J. Dairy Sci.*, 89:2938-2951.
- Doreau, M., H. M. G. van der Werf, D. Micol, H. Dubroeuq, J. Agabriel, Y. Rochette, and C. Martin. 2011. Enteric methane production and greenhouse gases balance

- of diets differing in concentrate in the fattening phase of a beef production system. *J. Anim. Sci.*, 89:2518-2528.
- Edmonson A. J., I. L. Lean, C. O. Weaver, T. Farber, and G. A. Webster. 1989. Body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 72:68-78.
- Ellis, J. L., E. Kebreab, N. E. Odongo, B. W. McBride, E. K. Okine, and J. France. 2007. Prediction of methane production from dairy and beef cattle. *J. Dairy Sci.*, 90:3456-3467.
- Ellis, J. L., F. Qiao, and J. P. Cant. 2006a. Evaluation of net energy expenditures of dairy cows according to body weight changes over a full lactation. *J. Dairy Sci.* 89:1546-1557.
- Ellis, J. L., Qiao, F., Cant, J. P. 2006b. Prediction of dry matter intake throughout lactation in a dynamic model of dairy cow performance. *J. Dairy Sci.* 89:1558-1570.
- FAO, 2009. How to feed the world in 2050. 2009. towards 2030/2050. High-Level Expert Forum. Rome 12-13 October 2009. FAO, Rome.
- FAO. 2011. World Livestock 2011. Livestock in food security. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.
- Farmer, C.G., R.C. Cochran, D.D. Simms, J.S. Heldt, and C.P. Mathis. 2001. Impact of different wheat milling by-products in supplements on the forage use and performance of beef cattle consuming low-quality, tallgrass-prairie forage. *J. Anim. Sci.*, 79: 2472-2480.
- Ferguson, J. D., D. T. Galligan, and N. Thomsen. 1994. Principal descriptor of body condition score in Holstein cows. *J. Dairy Sci.*, 77:2695-2703.
- Forster, P., V. Ramaswamy, P. Artaxo, T. Berntsen, R. Betts, D.W. Fahey, J. Haywood, J. Lean, D.C. Lowe, G. Myhre, J. Nganga, R. Prinn, G. Raga, M. Schulz, and R. Van Dorland. 2007. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, pp. 130-234.
- Friggens, N. C., C. Ridder, and P. Løvendahl. 2007. On the use of milk composition measures to predict the energy balance of dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 90:5453-5467.
- Hamada, T. 1971. Estimation of lower critical temperatures for dry and lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 54:1704-1705.
- Harper, L. A., O. T. Denmead, J. R. Freney, and F. M. Byers. 1999. Direct measurements of methane emissions from grazing and feedlot cattle. *J. Anim. Sci.*, 77:1392-1401.
- Heinrichs, A. J., B. P. Lammers, and D. R. Buckmaster. 1999. Processing, mixing, and particle size reduction of forages for dairy cattle. *J. Anim. Sci.*, 77:180-186.
- Hristov, A. N., J. Oh, J. L. Firkins, J. Dijkstra, E. Kebreab, G. Waghorn, H. P. S. Makkar, A. T. Adesogan, W. Yang, C. Lee, P. J. Gerber, B. Henderson, and J. M. Tricarico. 2013. Special Topics — Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. *J. Anim. Sci.*, 91:5045-5069.
- Ingale, S. L., A. Lokhande, and S. Zadbuke. 2013. Nutritional strategies to mitigate greenhouse gases emission from livestock agriculture: Review. *Livest. Res. Internat.*, 1:34-45.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 1996. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Second Assessment Report, 1996.
- Jiao, H. P., T. Yan, D. A. McDowell, A. F. Carson, C. P. Ferris, D. L. Easson, and D. Wills. 2013. Enteric methane emissions and efficiency of use of energy in Holstein heifers and steers at age of six months. *J. Anim. Sci.*, 91:356-362.
- Jílek, F., P. Pytloun, M. Kubešová, M. Štípková, J. Bouška, J. Volek, J. Frelich, and R. Rajmon. 2008. Relationships among body condition score, milk yield and reproduction in Czech Fleckvieh cows. *Czech J. Anim. Sci.*, 53:357-367.

- Johnson, K. A., and D. E. Johnson. 1995. Methane emissions from cattle. *J. Anim. Sci.*, 73:2483-2492.
- Kirschke, S., P. Bousquet, P. Ciais, M. Saunois, J. G. Canadell, E. J. Dlugokencky, P. Bergamaschi, D. Bergmann, D. R. Blake, L. Bruhwiler, P. Cameron-Smith, S. Castaldi, F. Chevallier, L. Feng, A. Fraser, M. Heimann, E. L. Hodson, S. Houweling, B. Josse, P. J. Fraser, P. B. Krummel, J. F. Lamarque, R. L. Langenfelds, C. Le Quéré, V. Naik. 2013. Review: Three decades of global methane sources and sinks. *Nature Geoscience*, 6:813-823.
- Knapp, J. R., G. L. Laur, P. A. Vadas, W. P. Weiss, and J. M. Tricarico. 2014. Enteric methane in dairy cattle production: Quantifying the opportunities and impact of reducing emissions: Review. *J. Dairy Sci.*, 97:3231-3261.
- Kolver, E. S. 2003. Nutritional limitations to increased production on pasture-based systems. *Proceedings of the Nutrition Society*, 62:291-300.
- Kuhn, N. J., D. T. Carrick and C. J. Wilde. 1980. Lactose synthesis: Possibilities of regulation. *J. Dairy Sci.*, 63:328-336.
- Leslie, M., M. Aspin, and H. Clark. 2008. Greenhouse gas emissions from New Zealand agriculture: Issues, perspectives and industry response. *Aust. J. Exp. Agric.*, 48:1-5.
- Lovett, D. K., L. J. Stack, S. Lovell, J. Callan, B. Flynn, M. Hawkins, and F. P. O'Mara. 2005. Manipulating enteric methane emissions and animal performance of late-lactation dairy cows through concentrate supplementation at pasture. *J. Dairy Sci.*, 88:2836-2842.
- Machmüller, A., and H. Clark. 2006. First results of a meta-analysis of the methane emission data of New Zealand ruminants. *International Congress Series.*, 1293: 54-57.
- Macoon, B., L. E. Sollenberger, J. E. Moore, C. R. Staples, J. H. Fike, and K. M. Portier. 2003. Comparison of three techniques for estimating the forage intake of lactating dairy cows on pasture. *J. Anim. Sci.*, 81:2357-2366.
- Martin, C., D. P. Morgavi, and M. Doreau, 2010. Methane mitigation in ruminants: From microbe to the farm scale. *Animal*, 4:351-365.
- McGeough, E. J., P. O'Kiely, K. J. Hart, A. P. Moloney, T. M. Boland, and D. A. Kenny. 2010. Methane emissions, feed intake, performance, digestibility, and rumen fermentation of finishing beef cattle offered whole-crop wheat silages differing in grain content. *J. Anim. Sci.*, 88:2703-2716.
- MINAG (Ministerio de Agricultura). 2010. Población de ganado vacuno, según unidad. Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos - Unidad de Estadística.
- Moraes, L. E., A. B. Strathe, J. G. Fadel, D. P. Casper, and E. Kebreab. 2014. Prediction of enteric methane emissions from cattle. *Glob. Change Biol.*, 20(7):2140-2148.
- NRC (National Research Council). 1989. Nutrient requirements of dairy cattle. National Academy Press. Washington, DC.
- NRC (National Research Council). 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. National Academy Press. Washington, DC.
- O'Dell, G. D., W. A. King, W. C. Cook. 1968. Effect of grinding, pelleting, and frequency of feeding of forage on fat percentage of milk and milk production of dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 51:50-55.
- Pedernera, M., S. C. García, A. Horagadoga, I. Barchia, and W. J. Fulkerson. 2008. Energy balance and reproduction on dairy cows fed to achieve low or high milk production on a pasture-based system. *J. Dairy Sci.*, 91:3896-3907.
- Pinares-Patiño, C.S., G. C. Waghorn, R. S. Hegarty, and S. O. Hoskin. 2009. Effects of intensification of pastoral farming on greenhouse gas emissions in New Zealand. *New Zealand Veterinary Journal (invited Feature Review)*, 57:252-261.
- Reis, R. B., and D. K. Combs. 2000. Effects of increasing levels of grain supplementation on rumen environment and lactation performance of dairy cows grazing grass-legume pasture. *J. Dairy Sci.*, 83:2888-2898.
- Roche, J. R., K. A. Macdonald, C. R. Burke, J. M. Lee, and D. P. Berry. 2007. Associations among body condition score, body weight, and reproductive performance in seasonal-calving dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 90:376-391.

- Rochinotti, D. 1998. Model components of forage-fed cattle systems: Energy expenditure of grazing cattle and prediction of intake in dairy cows. Ph.D. Diss., University of Florida, Gainesville.
- Roque, B., J. L. Bautista, M. J. Aranibar, R. D. Rojas, D. Pineda, A. Flores, F. Rojas y C. Pinares. 2012. Uso de concentrado fibroso en el incremento de la productividad y la disminución de las emisiones de metano entérico en ganadería de altura. XXXV Reunión Científica Anual de la Asociación Peruana de Producción Animal (APPA 2012). Libro de Resúmenes, pp 11-19.
- Smit, H. J., H. Z. Taweel, B. M. Tas, S. Tamminga, A. Elgersma. 2005. Comparison of techniques for estimating herbage intake of grazing dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 88:1827-1836.
- Smith, J., K. Sones, D. Grace, S. MacMillan, S. Tarawali, and M. Herrero. 2013. Beyond milk, meat, and eggs: Role of livestock in food and nutrition security. *Animal Frontiers*, 3:6-13.
- Stockdale, C. R. 2000. Levels of pasture substitution when concentrates are fed to grazing dairy cows in northern Victoria. *Aust. J. Exp. Agric.* 40:913–921.
- Sutton, J. D., S. B. Cammell, R. H. Phipps, D. E. Beever, and D. J. Humphries. 2000. The effect of crop maturity on the nutritional value of maize silage for lactating dairy cows. 2. Ruminal and post-ruminal digestion. *Anim. Sci.*, 71:391-400.
- Thorup, V. M., D. Edwards, and N. C. Friggens. 2012. On-farm estimation of energy balance in dairy cows using only frequent body weight measurements and body condition score. *J. Dairy Sci.*, 95:1784-1793.
- Tian, H., G. Chen, C. Lu, X. Xu, W. Ren, K. Banger, B. Zhang, B. Tao, S. Pan, M. Liu, and C. Zhang. 2013. Global land-atmosphere exchange of methane and nitrous oxide: magnitude and spatiotemporal patterns. *Biogeosciences Discuss.*, 10:19811-19865.
- UNO (United Nations Organization). 1998. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change.
- Wanapat, M., S. Kang, and S. Polyorach. 2013. Development of feeding systems and strategies of supplementation to enhance rumen fermentation and ruminant production in the tropics. *Rev. J. Anim. Sci. Biotech.*, 4:1-11.
- Yusuf, R. O., Z. A. Noor, A. H. Abba, M. A. A. Hassan, and M. F. M. Dinb. 2012. Methane emission by sectors: A comprehensive review of emission sources and mitigation methods. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 16:5059-5070.
- Yusuf, R. O., Z. Z. Noor, A. H. Abba, M. A. A. Hassan, and M. F. M. Din. 2012. Greenhouse gas emissions: Quantifying methane emissions from livestock. *Am. J. Eng. App. Sci.*, 5:1-8.