

Producción de Metano en Vacunos al Pastoreo Suplementados con Ensilado, Concentrado y Taninos en el Altiplano Peruano en Época Seca

METHANE PRODUCTION IN GRAZING CATTLE SUPPLEMENTED WITH SILAGE, CONCENTRATE AND TANNINS IN THE PERUVIAN HIGHLANDS DURING THE DRY SEASON

Juan E. Moscoso M.^{1,5}, Francisco Franco F.², Felipe San Martín H.³,
Juan Olazábal L.³, Liz B. Chino V.¹, César Pinares-Patiño⁴

RESUMEN

El objetivo del estudio fue determinar la producción de metano en vacunos al pastoreo en el altiplano peruano en un pastizal de *Festuca dolichophylla* - *Muhlenbergia fastigiata* (Chilliguar), suplementados con ensilado y concentrado o taninos durante la época seca (agosto). El estudio se realizó en el Centro Experimental «La Raya», Cusco, Perú, ubicado a una altitud de 4200 msnm. Se plantearon tres tratamientos (T1: pastos naturales + ensilado de avena; T2: como en T1 + taninos; T3: como en T1 + concentrado). Cada tratamiento contenía cuatro repeticiones distribuidos en un diseño jerárquico. La determinación de metano se realizó con la técnica del marcador con hexafluoruro de azufre (SF₆), siendo la frecuencia de medición por animal de 24 h por 7 d. El contenido de energía promedio en el pastizal fue de 4.1 Mcal EB/g, materia orgánica 91.8%, proteína cruda 10.3% y materia seca 91.1%. La producción de metano (g/d) para T1 fue de 421.7 ± 43.4, para T2 de 330.6 ± 66.7 y para T3 de 367.7 ± 116.5. La utilización de taninos redujo significativamente ($p < 0.05$) las emisiones de metano frente al uso o no de concentrado.

Palabras clave: metano; ensilado; taninos; concentrado; vacunos; Perú

¹ Área de Nutrición y Pastos – Zootecnia, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Perú

² Estación Experimental del Centro de Investigación IVITA-Marangani, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Cusco, Perú

³ Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú

⁴ Agribusinessgroup

⁵ E-mail: juan.moscoso@unsaac.edu.pe

Recibido: 6 de abril de 2017

Aceptado para publicación: 29 de julio de 2017

ABSTRACT

The aim of the study was to determine the methane production in cattle grazing in the Peruvian highlands in a pasture of *Festuca dolichophylla* - *Muhlenbergia fastigiata* (Chilliguar), supplemented with silage and concentrate or tannins during the dry season (August). The study was conducted at the Experimental Centre «La Raya», Cusco, Peru, located at an altitude of 4200 m. Three treatments were used (T1: natural grass + oat silage, T2: as in T1 + tannins, T3: as in T1 + concentrate). Each treatment had four replicates distributed in a hierarchical design. Methane determination was performed using the sulfur hexafluoride (SF₆) marker technique. The measurement was during 24 h for 7 d. The average energy content in the pasture was 4.1 Mcal GE/g, organic matter 91.8%, crude protein 10.3% and dry matter 91.17%. The methane (g/d) production for T1 was 421.7 ± 43.4, for T2 was 330.6 ± 66.7 and for T3 was 367.7 ± 116.5. The use of tannins significantly reduced (p<0.05) methane emissions from only silage supplementation or silage plus concentrate.

Key words: methane; silage; tannins; concentrate; cattle; Perú

INTRODUCCIÓN

En el Perú, los pastizales altoandinos constituyen la principal fuente de recursos forrajeros para la población ganadera; ya que el 100% de alpacas y vicuñas; 94% de ovinos, y 73% de vacunos pastorean en ellas (INEI, 2013). La disponibilidad y aporte nutricional de los pastizales altoandinos es variable a lo largo del año y, por consiguiente, presentan fuertes limitaciones nutricionales y productivas, condicionadas por factores de orden climático. Por ejemplo, la disponibilidad de energía metabolizable es potencialmente deficiente entre noviembre y diciembre, la proteína cruda es insuficiente entre mayo y julio, y tanto la energía metabolizable como la proteína cruda son limitantes entre agosto y octubre (época seca) (San Martín y Van Saun, 2014). Esta variación estacional en valor nutricional afecta la fisiología digestiva de los animales, generando diferentes niveles de eficiencia de uso de nutrientes y producción de metano (CH₄) (Van Soest, 1994).

El CH₄ es un gas de efecto invernadero cuyo potencial de absorción de radiación solar (potencial de calentamiento global) es cer-

ca de 25 veces superior al del CO₂ (Solomon *et al.*, 2007). En rumiantes, CH₄ es producido en el proceso de fermentación de la materia orgánica, principalmente en el rumen, representando una pérdida de 7 al 10% de energía bruta de la ingesta (Moss *et al.*, 2000). Las emisiones de CH₄ son afectadas por la interacción de factores tales como la cantidad de alimento consumido, su composición química, características de la fermentación, dinámica de tránsito de los alimentos en el tracto digestivo, composición y actividad del microbioma ruminal, además de la especie animal y factores atmosféricos que modifican la conducta animal (Pinares-Patiño *et al.*, 2003a, 2013a).

La producción de metano por rumiantes ha recibido bastante atención por la comunidad científica por ser un gas de efecto invernadero, y es de esperarse que su reducción en el animal podría tener efectos positivos en la productividad animal. En esta línea, los investigadores están trabajando varias estrategias para la reducción de emisiones de metano entérico, incluyendo la manipulación de la dieta (Pinares-Patiño *et al.*, 2013a; Muñoz *et al.*, 2015), manipulación del microbioma ruminal y el uso de selección

animal (Pinares-Patiño *et al.*, 2013b). Al momento, no se disponen de tecnologías costo/efectivas (y confiables desde el punto de vista de inocuidad de los productos animales) de reducción de estas emisiones, sobre todo para animales en sistemas extensivos (Pinares *et al.*, 2003b, Molano y Clark, 2008; Jiao *et al.*, 2014).

El uso de aceite, tanto en sistemas controlados como al pastoreo, ha demostrado la reducción de las emisiones de CH₄, pero aún falta investigar en periodos prolongados (Pinares-Patiño *et al.*, 2016); Además, fuentes o forrajes conteniendo taninos condensados (TC) han mostrado significantes efectos en la reducción de las emisiones de metano (Pinares-Patiño *et al.*, 2003b). Se ha postulado que los TC reducen la metanogénesis ruminal mediante la disminución de la formación de hidrógeno e inhibiendo la actividad de los microorganismos metanogénicos (Patra y Saxena, 2011), reportándose reducciones de 23% por kg/MS consumida (Woodward *et al.*, 2001). Otra alternativa es el uso de concentrados, donde la intensidad de la disminución en las emisiones de CH₄ dependerán de su nivel de inclusión (Boadi *et al.*, 2004; Lascano y Cardenas, 2010).

En las últimas dos décadas, el Altiplano peruano ha sido escenario de una expansión de la ganadería lechera, ocupando pastizales que anteriormente eran dedicados a la crianza de camélidos y ovinos. Esta actividad, si bien está basada en la utilización de pasturas y pastizales, requiere de una suplementación alimenticia, sobre todo en la época seca, siendo la avena conservada como heno el principal suplemento, aunque también se practica la suplementación moderada con concentrados. En la actualidad se desconoce las emisiones de metano entérico de este sistema de producción. Este estudio fue planeado a fin de llenar este vacío de información. Adicionalmente, el estudio involucró la incorporación de fuentes de TC en la dieta como una prueba de concepto para evaluar sus efectos en la emisión de metano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del Estudio

El estudio de campo (vacas al pastoreo) se llevó a cabo en el Centro Experimental de «La Raya» (4200 msnm), ubicado en el distrito de Maranganí, provincia de Canchis, región Cusco, Perú, y los análisis se realizaron en el Laboratorio de Cambio Climático y Producción Animal, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

La duración del estudio fue de cuatro meses, que comprendió una etapa pre-experimental de dos meses desde la elección y adaptación de los animales a los aperos, colocación de mochilas, tanques, jáquimas y líneas de colección, así como para la colocación y monitoreo de los tubos de permeación, y adaptación al consumo de taninos y concentrado. La etapa experimental comprendió la colección de gases y la colección de muestras del alimento utilizado.

Animales y Alimentación

Se emplearon 14 vacas cruzadas (Brown Swiss x criollo) en producción con una edad de 9 años y peso promedio de 460 ± 43 kg. Los animales pastorearon durante el día (8 horas) en un pastizal de *Festuca dolichophylla* y *Muhlenbergia fastigiata*, en un área de 27.61 ha y con una disponibilidad forrajera de 3546 kg materia seca (MS)/ha.

El pesaje de los animales se hizo con una balanza de plataforma de 1000 kg, con una precisión de 0.1 kg. No se realizó el registro de producción de leche, debido a que las vacas pastoreaban con cría al pie y la cantidad ordeñada no representaba la producción real.

Tratamientos

Se utilizaron tres tratamientos: T1, alimentación al pastoreo en pastizal natural más

Cuadro 1. Composición química y energética de los suplementos utilizados (en base seca)

	Concentrado	Ensilado de avena
Materia seca, %	91.28	25.44
Materia orgánica, %	94.77	95.44
Proteína cruda, %	14.13	5.25
Fibra cruda, %	10.72	23.75
Energía bruta, Kcal/kg	4015.43	4054.47

suplementación con ensilado de avena (25 kg de ensilado fresco/animal); T2, similar a T1 más la adición de taninos condensados (40 g/vaca/día); T3, similar a T1 y concentrado (3 kg/vaca/día, en base fresca). El pesaje de los alimentos se hizo con una balanza tipo reloj de 50 kg, con una precisión de 0.1 kg.

El tanino empleado fue un extracto en polvo hidrolizable de madera del castaño (97% de taninos condensados), de procedencia comercial (Silvateam, Perú). El periodo de adaptación al consumo del tanino fue de cinco días, en los cuales se ofreció gradualmente desde 10 g/vaca/día hasta 40 g/vaca/día. El tanino fue mezclado con dos kg de ensilado. El tanino fue pesado en una balanza Mettler PM 6000, con una aproximación de 0.1 g.

El concentrado estuvo compuesto de afrecho de trigo (50%), cebada grano molido (26.5%), maíz molido (10%), torta de soya (8%), coronta molida (3%), sales minerales (1%), sal común (1%) y carbonato de calcio (0.5%). Fue suministrado en las mañanas como ración única. El periodo de acostumbramiento al concentrado fue de 10 días, iniciándose con 0.5 kg por animal hasta llegar a 3 kg.

El suministro de concentrado y de los taninos se realizó en el cobertizo después del ordeño (07:30) y el ensilado fue suministrado a las 12:30 en el campo. Los animales pastoreaban desde las 08:00 hasta las 16:00. El consumo de agua fue *ad libitum* realizado

de una fuente continua de agua que se encontraba en la cercanía del pastizal. El pastoreo fue controlado por dos pastores. El pesado de los animales se realizó al inicio del experimento.

En el Cuadro 1 se presenta la composición química y energética de los suplementos utilizados. Se observa que el concentrado tuvo un mayor contenido de proteína cruda y un menor porcentaje de fibra cruda que el ensilado; sin embargo, los niveles de energía bruta y materia orgánica fueron similares.

La condición del pastizal empleado fue regular, habiéndose identificado 15 especies vegetales (Cuadro 2), donde en promedio se registró 4134.9 cal EB/g de MS, 91.8% de materia orgánica, 10.3% de proteína cruda y 91.1% de materia seca. El mayor contenido calórico se registró en la *Festuca rigida* en estado de crecimiento, mientras que para la proteína fue en *Eleocharis albibracteata*, y para materia orgánica fue en *Jarava ichu* (joven). La mayor variabilidad se dio en el contenido de proteína cruda (CV: 31.23%), siendo homogéneo el contenido de materia seca (CV: 1.66%), materia orgánica (CV: 3.33%) y energía (CV: 3.84%).

Estimación de las Emisiones de Metano

Se utilizó un trazador para estimar las emisiones de CH₄ entérico de cada individuo. Para esto, se insertó vía oral una fuente calibrada de permeación de hexafluoruro de

Cuadro 2. Valoración nutricional del pastizal Chilliguar (Fedo-Mufa¹) (base seca)

Especie	%MS	EB cal/g	%MO	%PC	Frecuencia (%)
<i>Alchemilla pinnata</i>	88.52	3,843.15	87.62	14.00	9
<i>Bidens andicola</i>	92.78	4,113.63	90.91	12.13	3
<i>Calamagrostis amoena</i>	92.24	4,106.49	92.67	7.19	6
<i>Eleocharis albibracteata</i>	92.41	4,077.49	89.96	15.75	1
<i>Festuca dolichophylla</i>	92.56	4,307.39	95.92	6.19	24
<i>Festuca rigida</i> (maduro)	92.88	4,288.94	95.86	6.38	2
<i>Festuca rigida</i> (joven)	89.84	4,308.00	90.95	13.44	1
<i>Hypochoeris taraxacoides</i>	92.83	3,833.98	85.79	10.69	11
<i>Jarava ichu</i>	89.77	4,289.08	96.34	7.56	9
<i>Juncus dombeyanus</i>	90.12	4,283.81	95.28	9.94	1
<i>Lepechinia meyenii</i>	92.52	4,221.86	90.19	15.19	2
<i>Margiricarpus pinnatus</i>	89.84	4,042.32	90.08	9.44	6
<i>Muhlenbergia fastigiata</i>	89.79	4,201.41	92.61	9.81	13
<i>Polipogon</i> sp	90.74	3,922.80	89.68	11.25	1
<i>Stipa brachiphylla</i>	89.17	4,183.51	93.85	5.50	11

¹ Fedo-Mufa: *Festuca dolichophylla* – *Muhlenbergia fastigiata*

EB = energía bruta; %MO = porcentaje de materia orgánica; %MS = porcentaje de materia seca; %PC = porcentaje de proteína cruda



Figura 1. Vaca al pastoreo con sistema de colección de gases

azufre (SF₆) dentro del retículo-rumen. Se registró por varios días las alícuotas de gases eructados y respirados por cada animal, y posteriormente se hizo el análisis de las concentraciones de CH₄ y SF₆ en las muestras colectadas, incluyendo en aquellas muestras representativas del blanco (Johnson *et al.*, 1994; Pinares-Patiño, 2000).

Para el muestreo de gases se utilizaron tanques de colección de policloruro de vinilo (PVC) de forma cilíndrica (~2 L de capacidad) y reguladores de flujo de gas contruidos usando capilares previamente evaluados y calibrados para proveer un flujo inicial de 0.70 – 0.75 ml/min que fueron colocados al inicio del filtro de humedad. Los animales fueron provistos de aparejos (mochila y jáquima; Figura 1) para albergar la línea de colección de muestra, así como para cargar los cilindros de colección de gas (dos cilindros por animal). La línea de muestreo de gases fue construida usando una manguera de nylon de 1/8" de diámetro, cuyo extremo inicial tenía un filtro de humedad (Swagelok) unido a un conector «Y» (inlet) de plástico que servía de entrada de los gases. En el otro extremo de la línea de colección se colocó un conector macho (Swagelok) para una co-

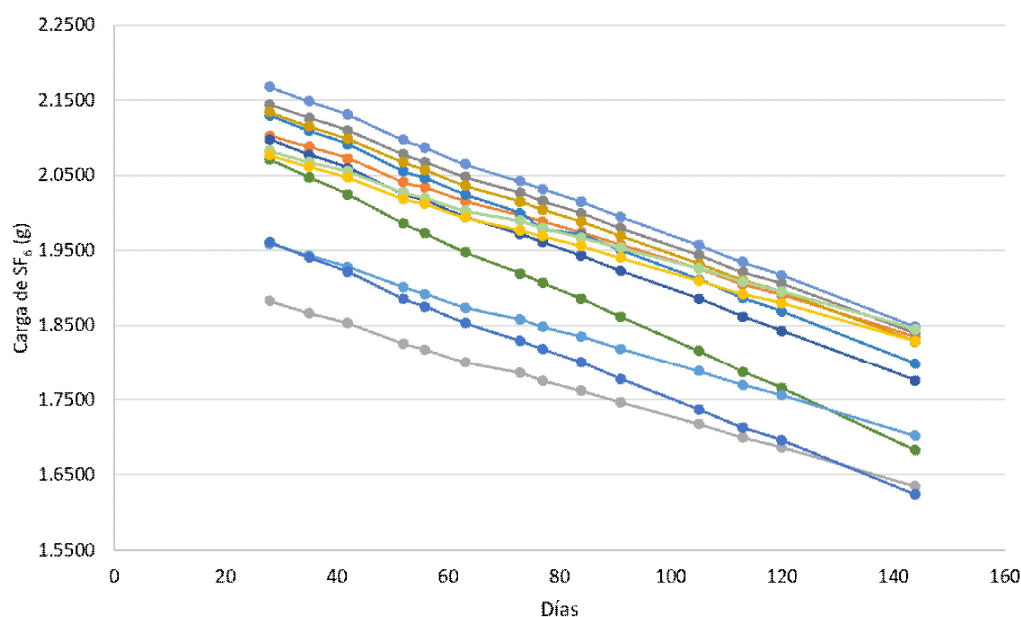


Figura 2. Tasa de permeación en tubos de SF₆, g

nexión rápida al cilindro de colección. La línea de muestreo estuvo protegida por cinta aislante para evitar condensación de la humedad en su interior y el efecto de la radiación solar. Tanto los cilindros de colección como la línea de muestreo fueron fijados en el aparejo del animal (Figura 1).

Los tubos de SF₆ con una tasa de permeación de ~2.5373 mg/d, carga inicial: ~2.1224 g y r²: ~0.9994, fueron calibrados por 144 d (Figura 2), realizándose el pesaje cada siete días a la misma hora y mantenidos en una estufa de aire forzado a 39 °C. Se descartó la información de los primeros 28 d. Los tubos de SF₆ (calibrados) fueron colocados en el rumen de cada animal 10 d antes de iniciar los muestreos. El muestreo fue continuo desde las 07:00 hasta el día siguiente, realizándose el retiro y remplazo de los tanques cada 24 h con un periodo efectivo de colección de 22 h.

Se registró la presión inicial y final de los tanques, los cuales fueron inmediatamente presurizados con nitrógeno (~450 mbar) para su envío y posterior análisis en el labo-

ratorio. Este mismo procedimiento fue realizado para los blancos (CH₄ ambiental). Al final de la colección se evaluaba la presión de los tanques, descartándose aquellos tanques (muestras) que tenían presión anómala. Una vez realizado el análisis de gases, los tanques fueron limpiados con nitrógeno y llevados a presión negativa (~600 mbar) 24 h antes de ser utilizados nuevamente. La concentración de gases (SF₆ y CH₄) en el aire (*background*) fueron colectados usando animales que no tenían fuente de SF₆ y las muestras se colectaron usando los aparejos de colección, pero con el «inlet» posicionado en el flanco izquierdo del animal. El periodo de muestreo de gases duró 7 d.

Para la determinación de SF₆ y CH₄, las muestras de gases fueron analizadas por duplicado en un cromatógrafo de gases (Perkin Elmer, Clarus 680), equipado con un detector de captura de electrones (ECD) e ionización de llama (FID). Se emplearon columnas capilares de 30 m x 0.53 mm de longitud Elite-PLOT Q y Mol Sieve 5A PLOT (Supelco). En la calibración del equipo se utilizaron cuatro estándares (Scott-Marring,

EEUU), estándar 1: CH₄ 10.50 ppmv ± 1% y SF₆ 8.82 pptv ± 10%, estándar 2: CH₄ 50.8 ppmv ± 1% y SF₆ 78.40 pptv ± 5%, estándar 3: CH₄ 103.00 ppmv ± 1% y SF₆ 157.8 pptv ± 5%, estándar 4: CH₄ 311.00 ppmv ± 1% y SF₆ 289.60 pptv ± 5%. Al inicio de cada lectura diaria se corrió el estándar 3, así como corridas de blancos electrónicos entre muestra y muestra.

Calculo de la Cantidad de Metano

Para determinar la cantidad de CH₄ emitido por animal, se utilizó el siguiente modelo:

$$\text{CH}_4 \text{ (g/día)} = \frac{([\text{CH}_4 \text{ tanque, ppm} - \text{CH}_4 \text{ ambiente, ppm}]}{[\text{SF}_6 \text{ tanque} - \text{SF}_6 \text{ ambiente}]} * \text{SF}_6 \text{ Tasa de permeación}$$

Análisis de Laboratorio

Para la evaluación del pastizal se utilizó el método de Parker modificado (composición florística y condición de pastizal) (Parker, 1950) y el método de rendimientos comparativos (disponibilidad forrajera) (Haydock y Shaw, 1975). Se acompañó a los animales durante el pastoreo realizando la simulación manual del bocado consumido para obtener muestras de forraje de la parte «consumida». Las muestras fueron secadas a temperatura ambiente y transportadas a laboratorio para su análisis.

Para el análisis de materia seca de los forrajes se usó el método gravimétrico, mediante secado en estufa (Binder FED-720) a 105 °C durante 24 h; la materia orgánica se determinó por calcinación en un mufla (Nabertherm B-150) a 600 °C durante 6 h; la determinación de energía bruta se realizó en una bomba calorimétrica (Parr, 6400); el análisis de nitrógeno se realizó en un analizador elemental (Perkin Elmer, 2400, serie II), siendo las condiciones de temperatura de combustión, reducción y del horno de 950, 640 y 82 °C, respectivamente. Todos los análisis se realizaron de acuerdo a la AOAC (1990).

Análisis Estadístico

Se evaluó el efecto de los tratamientos sobre las emisiones de CH₄ mediante análisis de varianza para un diseño completamente al azar jerárquico. En la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey. Los análisis estadísticos fueron realizados con ayuda del paquete estadístico SAS/STAT® 9.2 (SAS Institute, 2009). El modelo aditivo lineal empleado fue $Y_{ijk} = \mu + T_i + V_{j(i)} + e_{(ij)k}$, donde: Y_{ijk} = variable respuesta, μ = la media general, T_i = el efecto del i -enésimo tratamiento (alimento), $V_{j(i)}$ = el efecto anidado del alimento en el animal, $e_{(ij)k}$ = el efecto del error experimental del muestreo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La emisión de CH₄ (g/d) fue 21.6% menor en los animales que recibieron taninos condensados (330.56 ± 66.65 g/d) frente a los suplementados con ensilado de avena (421.70 ± 43.44 g/d) (grupo control) ($p < 0.05$). Por otro lado, no se observó diferencia estadística entre los animales que recibieron concentrado y los del grupo control (Cuadro 3). Estos resultados se mantienen cuando la producción es expresada en g/kg PV.

La reducción en la producción de CH₄ observada con el uso de taninos podría estar atribuida a que estos inhiben la actividad enzimática, disminuyen las poblaciones de protozoarios y bacterias celulolíticas y forman enlaces con las proteínas del forraje, reduciendo la degradación de la proteína ruminal (McSweeney *et al.*, 2001; Pinares-Patiño *et al.*, 2003a; Jakhmola *et al.*, 2010).

La información sobre alimentación de rumiantes con forrajes que contienen taninos muestra reducciones en las emisiones de CH₄ (Pinares-Patiño *et al.*, 2003a; Woodward *et al.*, 2004); sin embargo, en la mayoría de esos estudios, esta reducción de CH₄ puede confundirse con cambios en la calidad del forraje (Beauchemin *et al.*, 2007). Además, los

Cuadro 3. Producción de metano en vacunos al pastoreo bajo condiciones de altura

Tipo de alimento ¹	Media	D.E. ²	E.E. ²	Mínimo	Máximo
CH ₄ , g/d					
Pasto natural + ensilado + taninos	330.56 ^a	66.65	12.60	208.21	424.24
Pasto natural + ensilado + concentrado	367.70 ^b	116.46	22.01	113.62	524.51
Pasto natural + ensilado	421.70 ^b	43.44	8.21	323.35	492.19
CH ₄ , g/d/ kg PV					
Pasto natural + ensilado + taninos	0.68 ^a	0.17	0.03	0.37	0.92
Pasto natural + ensilado + concentrado	0.78 ^b	0.28	0.05	0.25	1.27
Pasto natural + ensilado	0.87 ^b	0.17	0.03	0.50	1.09

¹ Pasto natural: chillihuar (*Festuca dolichophylla* – *Muhlenbergia fastigiata*) (Fedo-Mufa); Ensilado: avena; Taninos: extracto en polvo de madera de castaño (*Castanea sativa*); Concentrado: subproducto de trigo, torta de soya, harina de cebada, coronta de maíz molida y minerales

² D.E.: desviación estándar; E.E.: error estándar

forrajes ricos en taninos no son agrónomicamente adecuados para todas las condiciones y, por lo tanto, pueden no estar fácilmente disponibles para su inclusión en las dietas (Waghorn, 2008).

Los resultados coinciden con reportes previos que utilizaron taninos (Wischer, 2012; Perna *et al.*, 2013); sin embargo, en un estudio utilizando plantas con elevados niveles de taninos y suministrados en forma de pellets no se encontró diferencias al compararlas con pastos bajos en taninos cuando estos se expresaron en g/día, pero al evaluarlos en función a la cantidad de materia seca ingerida, se observó una reducción en la producción de CH₄ (Rira *et al.*, 2013). Este mismo efecto fue reportado al alimentar vacas lecheras con *Lotus corniculatus* (alto en taninos condensados) frente al rye grass (Woodward *et al.*, 2004).

Los niveles de reducción en las emisiones de CH₄ utilizando taninos son bastante variables, siendo en el estudio del orden de 21.6% comparado al control. Reducciones en el orden del 12% fueron observados por Bárbaro *et al.* (2008) con taninos provenientes

del quebracho y 23% utilizando pastura Lotus frente a pastura ryegrass (Woodward *et al.*, 2001).

La emisión de CH₄ en vacas suplementadas solo con ensilado (grupo control) de este estudio (421.70 CH₄, g/día) se encuentra por encima de valores de emisiones reportados para vacas en pastoreo en clima templado (Westberg *et al.*, 2001; Dini *et al.*, 2012; Waghorn *et al.*, 2016). La mayor emisión observada en el presente estudio estaría determinada por la naturaleza y tipo de fermentación generada y, por consiguiente, por la retención más prolongada del material fibroso (Pinares-Patiño *et al.*, 2013). Este estudio se realizó en la época seca donde los pastos se encuentran en estado de dormancia o senescencia con elevados niveles de fibra; y en este contexto, el estado de madurez del forraje es conducente a una fermentación más acética y de tasa de pasaje de partículas más lenta (Van Soest, 1994; Pinares *et al.*, 2003a,b, 2013a).

Diversos autores demostraron que una mayor madurez del forraje aumenta las emisiones de CH₄ por unidad de materia seca incubada (Pinares *et al.*, 2003b; Clark *et al.*,

2005; Molano y Clark, 2008; Vargas *et al.*, 2012), debido a que la utilización de carbohidratos con elevados niveles de pared celular (forrajes) produce mayor cantidad de CH₄ por unidad de materia orgánica fermentable en el rumen, así como la mayor producción de acetato que la fermentación producida por almidones. Las dietas ricas en almidones (concentrados) favorecen la producción de propionato y se disminuye la relación metano/materia orgánica fermentada en el rumen (Johnson KA y Johnson DE, 1995; Moss *et al.*, 2000), reduciendo la producción de CH₄ (Boadi *et al.*, 2004, Waghorn y Clark, 2006; Waghorn, 2008; Vargas *et al.*, 2012).

En el presente estudio, si bien se observa una reducción en la emisión de CH₄ al incorporar concentrado en la ración de los animales, esta no fue suficiente para determinar diferencias estadísticas con lo producido solo con pastos naturales más ensilado. Esto podría deberse a que la cantidad de concentrado suministrado no habría sido suficiente para reducir las emisiones de CH₄. Así, en estudios con niveles de suministro de concentrado hasta de 8 kg por animal/día no obtuvieron reducciones de las emisiones de CH₄ (Pinares *et al.*, 2003b, Molano y Clark, 2008; Jiao *et al.*, 2014); sin embargo, cuando las emisiones de CH₄ son expresadas por kilogramo de leche producida se aprecia un efecto mitigador (Jiao *et al.*, 2014). Se menciona que la proporción de concentrado en la dieta necesaria para lograr el efecto mitigador debe ser superior al 50% (Lascano y Cardenas, 2010).

Finalmente cabe mencionar que los resultados del presente estudio fueron desarrollados en base a las metodologías propuestas por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2006), que sugiere tres niveles de análisis y complejidad («Tiers»), donde el Tier 1 o nivel 1 utiliza promedios globales, distinguiendo variables significativas (clima, especie animal e insumos); en el nivel 2 se utilizan ecuaciones y conceptos del nivel 1, pero requiere información local más detallada (peso animales, tipo y cantidad de alimento, etc.); mientras que el nivel 3 involucra

estudios exhaustivos que consideran datos tomados con repetición para obtener factores de emisión locales y de alta precisión; siendo este nivel el recomendado para los rubros de mayor influencia en un inventario (González y Carlsson-Kanyama, 2007).

En el Perú existe limitada información sobre la producción de CH₄ por el ganado. Existen reportes a niveles de Tier 1 (García *et al.*, 2007) y Tier 2 (Vélez *et al.*, 2014). El presente estudio es el primer reporte de la producción de CH₄ entérico en rumiantes a nivel de Tier 3, para lo cual se tuvo que establecer la metodología, tanto para la colección de gases como para el análisis de los mismos, en las condiciones del altiplano peruano.

CONCLUSIONES

- La experiencia de este ensayo como primera aproximación realizada en el altiplano peruano utilizando la técnica del hexafluoruro de azufre (SF₆) muestra la viabilidad de la técnica.
- Los resultados encontrados muestran que el uso de taninos condensados podría ser una buena alternativa para disminuir la emisión de CH₄.

LITERATURA CITADA

1. **AOAC. 1990.** Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Vol 1. 15th ed. Washington DC: AOAC. 1298 p.
2. **Bárbaro NO, Gratton R, Rubio R, Gere J, Williams K, Arguelo G, Manetti M. 2008.** Evaluación del efecto de un aditivo alimentario (en base a taninos) sobre las emisiones de CH₄ en vacas lecheras adultas mediante la técnica de trazado por SF₆ con largos tiempos de recolección. V Congreso Iberoamericano de Física y Química Ambiental. Mar del Plata, Argentina: Sociedad Iberoamericana de Física y Química Ambiental.

3. **Beauchemin KA, McGinn SM, Martinez TF, McAllister TA. 2007.** Use of condensed tannin extract from quebracho trees to reduce methane emissions from cattle. *J Anim Sci* 85: 1190-1196. doi: 10.2527/jas.2006-686
4. **Boadi D, Benchaar C, Chiquette J, Massé D. 2004.** Mitigation strategies to reduce enteric methane from dairy cows: update review. *Can J Anim Sci* 84: 319-335. doi: 10.4141/A03-109
5. **Clark H, Pinares-Patiño C, De Klein C. 2005.** Methane and nitrous oxide emissions from grazed grasslands. In: McGilloway DA (ed). *Grassland: a global resource*. Wageningen, The Netherlands: Academic Publishers. p 279-293.
6. **Dini Y, Gere J, Briano C, Manetti M, Juliarena P, Picasso V, Gratton R, Astigarraga L. 2012.** Methane emission and milk production of dairy cows grazing pastures rich in legumes or rich in grasses in Uruguay. *Animals* 2: 288-300. doi: 10.3390/ani2020288
7. **García M, Malpartida E, Gómez C. 2007.** Estimate of methane emissions – Enteric fermentation and manure management – from livestock in Peru. *Aust J Exp Agric* 48 (Abstr).
8. **González AD, Carlsson-Kanyama A. 2007.** Emisiones de gases de efecto invernadero con alto potencial de calentamiento global: el sector agropecuario. *Avances Energías Renovables Medio Ambiente* 11: 01.07-01.14.
9. **Haydock KP, Shaw NH. 1975.** The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Aust J Exp Agric Anim Husb* 15: 663-670. doi: 10.1071/EA9750663
10. **[INEI] Instituto Nacional de Estadística e Informática. 2013.** Resultados definitivos. IV Censo Nacional Agropecuario 2012. [Internet]. Disponible en: <http://proyectos.inei.gob.pe/web/DocumentosPublicos/ResultadosFinales-IVCENAGRO.pdf>
11. **[IPCC] International Panel on Climate Change. 2006.** Guidelines for national greenhouse gas inventories. Japón: IGES. [Internet]. Available in: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>
12. **Jakhmola RC, Pahuja T, Raghuvansi SK. 2010.** Feeding strategies to reduce enteric methane production in ruminants: a review. *Indian J Small Rumin* 16: 1-17.
13. **Jiao HP, Dale AJ, Carson AF, Murray S, Gordon W, Ferris CP. 2014.** Effect of concentrate feed level on methane emissions from grazing dairy cows. *J Dairy Sci* 97: 7043-7053. doi: 10.3168/jds.2014-7979
14. **Johnson KA, Huyler M, Westberg H, Lamb B, Zimmerman P. 1994.** Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a sulfur hexafluoride tracer technique. *Environ Sci Technol* 28: 359-362. doi: 10.1021/es00051a025
15. **Johnson KA, Johnson DE. 1995.** Methane emissions from cattle. *J Anim Sci* 73: 2483-2492. doi: 10.2527/1995.7382483x
16. **Lascano CE, Cárdenas E. 2010.** Alternatives for methane emissions mitigation in livestock systems. *R Bras Zootec* 39: 175-182. doi: 10.1590/S1516-35982010001300020
17. **McSweeney CS, Palmer B, Mcneill DM, Krause DO. 2001.** Microbial interactions with tannins: nutritional consequences for ruminants. *Anim Feed Sci Technol* 91: 83-93. doi: 10.1016/S0377-8401(01)00232-2
18. **Molano G, Clark H. 2008.** The effect of level of intake and forage quality on methane production by sheep. *Aust J Exp Agric* 48: 219-222. doi: 10.1071/EA07253
19. **Moss AR, Jouany JP, Newbold J. 2000.** Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Ann Zootech* 49: 231-253. doi: 10.1051/animres:2000119

20. **Muñoz C, Hube S, Morales JM, Yan T, Ungerfeld EM. 2015.** Effects of concentrate supplementation on enteric methane emissions and milk production of grazing dairy cows. *Livest Sci* 175: 37-46. doi: 10.1016/j.livsci.2015.02.001
21. **Parker KW. 1950.** Report on 3-step method for measuring condition and trend of forest ranges. Washington DC, USA: USDA Forest Service. 68 p.
22. **Patra A, Saxena J. 2011.** Exploitation of dietary tannins to improve rumen metabolism and ruminant nutrition. *J Sci Food Agric* 91: 24-37. doi: 10.1002/jsfa.4152
23. **Perna JR, Marino CT, Pinedo LA, Cassiano ECO, Martins M, Solorzano LAR, et al. 2013.** Effect of feed additives on methane production as determined by the tracer technique SF6 in bovines, Brazil. *Proc IV International Conference on Sustainable Animal Agriculture for Developing Countries.* Lanzhou, China.
24. **Pinares-Patiño CS. 2000.** Methane emission from forage-fed sheep, a study of variation between animals. PhD Thesis. Palmerston North, New Zealand: Massey University. 248 p.
25. **Pinares-Patiño CS, Ulyatt MJ, Waghorn GC, Lassey KR, Barry TN, Holmes CW, Johnson DE. 2003a.** Methane emission by alpaca and sheep fed on lucerne hay or grazed on pastures of perennial ryegrass/white clover or birdsfoot trefoil. *J Agric Sci* 140: 215-226. doi: S002185960300306X
26. **Pinares-Patiño CS, Baumont R, Martin C. 2003b.** Methane emissions by Charolais cows grazing a monospecific pasture of timothy at four stages of maturity. *Can J Anim Sci* 83: 769-777. doi: 10.4141/A03-034
27. **Pinares-Patiño CS, Franco FE, Battistotti M, Molano G, Sandoval E, Kjestrup H, et al. 2013a.** Methane emissions from alpaca and sheep fed lucerne hay as either chaff or pellets. *Adv Anim Biosci* 4: 584 (Abstr).
28. **Pinares-Patiño CS, Hickey SM, Young EA, Dodds KG, MacLean S, Molano G, Sandoval E, et al. 2013b.** Heritability estimates of methane emissions from sheep. *Animal* 7(Suppl 2): 316-321. doi: 10.1017/S1751731113000864
29. **Pinares-Patiño CS, Franco F, Molano G, Kjestrup H, Sandoval E, MacLean S, Battistotti M, et al. 2016.** Feed intake and methane emissions from cattle grazing pasture sprayed with canola oil. *Livest Sci* 184: 7-12. doi: 10.1016/j.livsci.2015.11.020
30. **Rira M, Marie-Magdeleine C, Archimede H, Morgavi D, Doreau M. 2013.** Effect of condensed tannins on methane emission and ruminal microbial populations. Energy and protein metabolism and nutrition in sustainable animal production. IV International Symposium on Energy and Protein Metabolism and Nutrition. Sacramento, California, USA
31. **SAS Institute Inc. 2009.** SAS/STAT 9.2 User's guide. Cary, NC. 870 p.
32. **San Martín F, Van Saun R. 2014.** Applied digestive anatomy and feeding behaviour. In: Cebra C, Anderson D, Tibary A, Van Saun R, Johnson LR (eds). *Llama and alpaca care: medicine, surgery, reproduction, nutrition, and herd health.* Canada: Elsevier. p 51-58.
33. **Solomon S, Qin D, Manning M, Marquis M, Averyt K, Tignor M, Miller H, Chen Z. 2007.** Report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press. 996 p.
34. **Van Soest PJ. 1994.** Nutritional ecology of the ruminant. 2nd ed. USA: Cornell University Press. 476 p.
35. **Vargas J, Cardenas E, Pabón M, Carulla J. 2012.** Emisiones de metano entérico en rumiantes en pastoreo. *Arch Zootec* 61: 51-66.
36. **Vélez V, Obando A, San Martín F, Olazabal J, Pacheco J, Franco F. 2014.** Relación entre el consumo de materia seca y la estimación de la emisión de metano en vacunos lecheros diferenciada por sistema de producción y

- fase de lactancia en la irrigación Majes, Arequipa, Perú. Primera conferencia de gases de efecto invernadero en sistemas agropecuarios de Latinoamérica (GALA). Osorno, Chile.
37. **Waghorn G, Jonker A, Macdonald K. 2016.** Measuring methane from grazing dairy cows using GreenFeed. *Anim Prod Sci* 56: 252-257. doi: 10.1071/AN15491
38. **Waghorn GC, Clark DA. 2006.** Greenhouse gas mitigation opportunities with immediate application to pastoral grazing for ruminants. *Int Congr Series* 1293: 107-110. doi: 10.1016/j.ics.2006.-02.025
39. **Waghorn GC. 2008.** Beneficial and detrimental effects of dietary condensed tannins for sustainable sheep and goat production – Progress and challenges. *Anim Feed Sci Technol* 147: 116-139. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2007.09.013
40. **Westberg H, Lamb B, Johnson KA, Huyler M. 2001.** Inventory of methane emissions from U.S. cattle. *J Geophys Res* 106: 12633-12642. doi: 10.1029/2000JD900808
41. **Wischer G 2012.** Effects of monensin and tannin extract supplementation on methane production and other criteria of rumen fermentation *in vitro* and in long-term studies with sheep. PhD Thesis. Stuttgart, Germany: Universität Hohenheim. 128 p.
42. **Woodward SL, Waghorn GC, Laboyrie PG. 2004.** Condensed tannins in birdsfoot trefoil (*Lotus corniculatus*) reduce methane emissions from dairy cows. *Proc New Z Soc Anim Prod* 64: 160-164.
43. **Woodward SL, Waghorn GC, Ulyatt MJ, Lassey KR. 2001.** Early indications that feeding Lotus will reduce methane emissions from ruminants. *Proc New Z Soc Anim Prod* 61: 23-26.