



## PRODUCCIÓN DE METANO EN CAMÉLIDOS SUDAMERICANOS DOMÉSTICOS Y SU EFECTO EN LA SALUD PÚBLICA

### METHANE PRODUCTION IN DOMESTIC SOUTH AMERICAN CAMELIDS AND ITS EFFECT ON PUBLIC HEALTH

Uriel Santiago Marca Choque<sup>1</sup>; Bernardo Roque Huanca<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Practica privada, Jr. Pueblo Unido 152, Puno. [marcachoqueu@gmail.com](mailto:marcachoqueu@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia Ciudad Universitaria, Puno, Perú.

#### RESUMEN

El estudio se hizo en el Centro de Investigación y Producción La Raya de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, con el objetivo de evaluar la producción de metano en camélidos sudamericanos domésticos y su efecto en la salud pública; se usó una cámara de acumulación de gases y el equipo analizador de gases (Gasmeter DX-4030). El trabajo tuvo dos partes: a) metano producido con animales al pastoreo y b) metano producido con animales en confinamiento. La muestra fue 14 alpacas y 14 llamas. Los resultados fueron: en alpacas 1.77 moles/día, equivalente a 63.28 Lt/día de metano; en llamas fue 3.35 moles/día equivalente a 129.61 Lt/día de metano. La producción de metano entérico a nivel nacional deducido para alpacas sería 1,677'995.502 Lt/día, 927,982.3601 TM/año o 0.927 Tg/año y para llamas sería 63'268,685.82 Lt/día equivalente a 350,374.31 TM/año o 0.35 Tg/año de metano, respectivamente; de ese modo contribuyen al banco de gases de efecto invernadero y por tanto afecta la salud pública. Las dolencias prevalentes en la población del área de influencia fueron asfisia, mareos, dolor de cabeza, náuseas, somnolencia, irritación de mucosa nasal, estornudos, irritación de mucosa ocular e irritación de mucosa laríngea, presentes con grupos de animales mayores a 300 camélidos y dentro de los rediles.

**Palabras clave:** alpaca, analizador de gases, llama, metano y salud pública.

#### ABSTRACT

The study was conducted at the La Raya Research and Production Center of the National University of the Altiplano of Puno, with the objective of evaluating the production of methane in domestic South American camelids and their effect on public health; a gas accumulation chamber and the gas analyzer equipment (Gasmeter DX-4030) were used. The work had two parts: a) methane produced with grazing animals and b) methane produced with animals in confinement. The sample was 14 alpacas and 14 llamas. The results were: in alpacas 1.77 moles/day, equivalent to 63.28 Lt/day of methane; in llamas was 3.35 moles/day equivalent to 129.61 Lt/day of methane. The production of enteric methane at national level deducted for alpacas would be 1,677'995,502 Lt/day, 927,982.3601 MT/year or 0.927 Tg/year and for llamas would be 63'268,685.82 Lt/day equivalent to 350,374.31 TM / year or 0.35 Tg / year of methane, respectively; in this way they contribute to the greenhouse gas bank and therefore affect public health. The prevalent ailments in the population of the area of influence were asphyxia, dizziness, headache, nausea, drowsiness, irritation of nasal mucosa, sneezing, irritation of ocular mucosa and irritation of laryngeal mucosa, present with groups of animals greater than 300 camelids and inside the pens.

**Keywords:** alpaca, gas analyzer, llama, methane and public health.

\*Autor para correspondencia: [marcachoqueu@gmail.com](mailto:marcachoqueu@gmail.com)



## INTRODUCCIÓN

El Perú es el primer productor mundial de alpacas con 3'685,516 animales, que significa el 87% de la población mundial; localizado en la Sierra con 3'685,000 animales (INEI, 2013b). El 89.7% se halla en las zonas alto andinas de Puno, Cusco, Arequipa, Huancavelica y Apurímac. La raza Huacaya reúne 2'909,212 unidades; y Puno es la primera región poseedora con 1'459,903 ejemplares (INEI, 2013a). La llama después de la alpaca es la especie más importante, con una población de 746.269 animales. Se adapta en un rango ecológico de 2,000 a 5,000 msnm, y en lugares sobre todo áridos (INEI, 2013). Son más eficientes que los ovinos y vacunos en el aprovechamiento de los pastos fibrosos de baja calidad nutritiva de las zonas áridas alto andinas. Por su rusticidad y adaptación a los variados pisos ecológicos, cumple un rol importante en el contexto económico y social de la población andina (García *et al.*, 2002).

Los camélidos sudamericanos domésticos (alpacas y llamas) son animales muy importantes en la zona andina; sin embargo, producen CH<sub>4</sub> entérico. Los rumiantes aportan en la seguridad alimentaria y nutricional de la población mundial, pero, con un alto costo ambiental por sus emisiones de gases de efecto invernadero, tales como metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), que son responsables del calentamiento global y el cambio climático en 14.3% y 7.9%, respectivamente (Smith *et al.*, 2013). Se calcula que para el año 2050, el consumo mundial de carne crecerá de 229 a 465 millones de toneladas y el de leche de 580 a 1.043 millones de toneladas, ello significa que la seguridad alimentaria y nutricional de la población mundial tendrá un costo ambiental aún más alto (FAO, 2009).

La alimentación usual del ganado en altura es a base de pastos enteros y maduros con alto contenido de fibra, que genera altas emisiones de metano con efectos negativos en la productividad animal y la salud ambiental (Doreau *et al.*, 2011). Estudios en lugares cercanos al nivel del mar mostraron que las alpacas alimentadas con forrajes producen más CH<sub>4</sub> que los ovinos, 7.0 vs 5.0% EB (Pinares-Patiño *et al.*, 2003) o 8.3 vs 11.6% EB (Dittmann *et al.*, 2014); pero, la altitud ejerce efecto sobre la presión atmosférica, por tanto, las emisiones de metano aumentan a mayor altura (West, 2004).

El metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), después del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), son los gases de efecto invernadero (GEI) más importantes por su propiedad de absorber los rayos infrarrojos y aumentar la temperatura, con impacto sobre el calentamiento global y el cambio climático (Knapp *et al.*, 2014), (Montzka *et al.*, 2011); el potencial de calentamiento, o capacidad de atrapar el calor, del CH<sub>4</sub> y del N<sub>2</sub>O es 25 y 298 veces más que el del CO<sub>2</sub>, respectivamente, (Forster *et al.*, 2007).

En el Centro de Investigación y Producción Quimsachata, del Instituto Nacional de Innovación Agraria-Puno, en 8 alpacas machos, de dos años de edad; distribuidos en dos grupos: A (alimento fibroso ofrecido en forma entera, n=4) y B (alimento fibroso ofrecido en forma molida n=4); se midieron las emisiones de CH<sub>4</sub> en la mañana y en la noche, utilizando el equipo Gasmeter DX-4030. Los resultados fueron grupo A: mañana=23.12±15.01 y noche=27.69±15.35; grupo B: mañana=27.17±12.25 y noche=23.73±12.31 ppm; no hubo diferencia estadística (p<0.05) entre las dietas suministrados ni en el momento de la medición de la producción de CH<sub>4</sub> (Machaca *et al.*, 2015).

Con la técnica de trazador de hexafluoruro de azufre, se determinó la producción de CH<sub>4</sub> (g/día), asumiendo que, la alpaca (*Vicugna pacos*) tiene una menor tasa de flujo fraccional de partículas de forraje (particulado FOR) estomacal que de la oveja, se estudió en 6 alpacas machos y 6 ovejas

Romney castradas, con alimentación simultánea y sucesiva con forrajes a voluntad (pastoreo), en tres ensayos: ensayo 1, heno de alfalfa alimentado en interiores; ensayo 2, pastoreada en pasto perenne de raigrás/trébol blanco; y ensayo 3, con alimento de pasto trébol (*Lotus corniculatits*; Lotus). Las dietas seleccionadas por alpaca fueron de menor calidad que las seleccionadas por ovejas, y las ingestas voluntarias de energía bruta por kg de peso vivo (0.75) fueron consistentemente menores ( $P < 0.001$ ) para la alpaca que para las ovejas (0.74 v. 1.36, 0.61 v. 1.32 y 0.77 v. 2.53 con heno de alfalfa, raigrás/trébol blanco y Lotus, respectivamente). Las alpacas y ovejas no difirieron ( $P > 0.05$ ) en las emisiones de  $CH_4$  cuando se alimentaron con heno de alfalfa (5.1 v. 4.7), pero la alpaca tuvo una mayor producción de  $CH_4$  cuando se alimentó con raigrás/trébol blanco (9.4 v. 7.5, ( $P < 0.05$ ) y Lotus (6.4 v. 2.7,  $P < 0.001$ ). Las diferencias entre estas especies podrían haber sido el mecanismo fisiológico subyacente, aunque las diferencias entre especies en la ingesta voluntaria de alimento y la calidad de la dieta también tuvieron un efecto sustancial en la producción de  $NH_4$  (Pinares-Patiño *et al.*, 2003).

Se desconoce cuánto metano entérico producen los camélidos que viven en los Andes; pero, puede ser similar o mayor que las emisiones halladas a nivel del mar, por su alimentación con pastos naturales (Bryant y Farfan, 1984) con alto contenido en fibra detergente neutro, más en época seca (Genin *et al.*, 2002). A la par, se desconoce los efectos del metano producido por los camélidos, sobre la salud pública mediante la contaminación ambiental, el cambio climático y el calentamiento global (Gutiérrez *et al.*, 2017); además, las dolencias causadas por metano provienen de las inhalaciones agudas y crónicas, siendo los síntomas más comunes mareos, dolor de cabeza, náuseas, somnolencia, pérdida del conocimiento entre otros males (EEA, 2013). Por lo expuesto se ejecutó el estudio a fin de conocer la producción del gas metano en los camélidos sudamericanos domésticos y su efecto en la salud pública.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Centro de Investigación y Producción La Raya de la Universidad Nacional del Altiplano, situada en el distrito de Santa Rosa, provincia de Melgar, departamento de Puno, a una altitud de 4200 m., entre las coordenadas 14° 30'33" latitud sur y 70°57'12" longitud oeste, en los meses de junio a diciembre del 2016 y enero a junio 2017 (Tabla 1).

**Tabla 1.** Número de alpacas y llamas incluidas en el estudio, CIP La Raya-2017.

	Medición metano		Fístula esofágica animales al pastoreo	Sub Total
	Pasto natural	Forraje molido		
Alpacas				
Machos	4	4	1	9
Hembras	4		1	5
Llamas				
Machos	4	4	1	9
Hembras	4		1	5
Total				28

El clima fue variado, con una temperatura promedio de 10.0°C y una humedad relativa promedio de 54%. Los análisis químicos se realizaron en el Laboratorio de Nutrición y Alimentación Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, en los meses de enero a junio del año 2017, a 3825 msnm.(SENAMHI, 2016). El estudio realizado fue de tipo experimental, descriptivo y transversal. Animales. Se necesitó 14 alpacas y 14 llamas dividido en dos grupos; un grupo de animales alimentados en pastos naturales (20) y otro grupo de animales confinados (8) alimentados con forraje picado

*Instalaciones.* La instalación básica fue una cámara de acumulación de gases de 2 m (ancho) x 2.0 m (altura) x 2.5 m (longitud), hecho de policarbonato (Goopy *et al.*, 2011).

*Materiales y equipo general.* Para el estudio se utilizó materiales de escritorio, cánula esofágica, bolsas colectoras, cámara fotográfica, tablero de vidrio (cuadrante) de 50cm<sup>2</sup>, materiales y reactivos de laboratorio, balanza electrónica analítica de precisión con capacidad de 200/0.0001g, balanza electrónica digital con plataforma con capacidad de 500/0.1 kg, estufa, mufla, digestor de fibra, estereoscopio Leica S8 APO, molino/picador forrajero Trapp TRF-700 y analizador de gases (Gasmeter DX-3040), (Gasmeter Technologies Oy, 2012)

*Procedimiento general para medir metano en alpacas y llamas.* Los animales ingresaron uno a uno a la cámara de acumulación de gases de 9.78 m<sup>3</sup>, la emisión de metano se registró con el analizador de gases Gasmeter DX-4030 puesto dentro de la cámara, con un sistema bluetooth (PDA). Los primeros datos fueron expresados en partes por millón (ppm), luego fueron convertidos en mg/d, g/d, moles/d y L/d, tomando en cuenta el minuto 20, temperatura, humedad, Ph (mmHg) y altitud. Fue necesario desarrollar dos etapas: pre-experimental y experimental.

*Canulación esofágica en alpacas y llamas.* Para recuperar la ingesta consumida se canularon quirúrgicamente a las alpacas y llamas, en ambos sexos, en el lado izquierdo medio de la tabla del cuello (Van Dyne y Torell, 1964)

*Periodo de acostumbramiento.* Duró 3 días, con el siguiente proceso: ingreso a la cámara de acumulación de gases, colocación de arnés y bolsas de colección de heces y colección de bolsas de ingesta en animales fistulados (Van Dyne y Torell, 1964), (Booyse *et al.*, 2009).

*Procedimiento para la colección de heces.* Una noche antes se colocó los arneses y bolsas colectoras de lona a cada uno (Yiakoulaki y Nastis, 1998), luego se retiró por la mañana (6 h) y registró el peso, luego se volvió a ponerlas para retirarlas por la noche (18 h), todo este procedimiento por 3 días sucesivos. Se muestreo (50 g) por animal, fueron secadas al medio ambiente, embolsadas en papel y rotuladas. Para las hembras se diseñó un desvío con alambrado y tubo de PBC para no mezclar con la orina.

*Colección de la ingesta.* Las muestras de la dieta consumida fueron colectadas de la bolsa ajustada a la cánula esofágica, por la mañana (10 am) y por la tarde (2 pm), por unos 15 minutos, durante tres días consecutivos (Van Dyne y Heady, 1965). Las muestras fueron secadas al medio ambiente, mezcladas y rotuladas para su posterior análisis.

*Animales para confinamiento.* Requerió 4 alpacas y 4 llamas machos con 2 años de edad, clínicamente sanos, procedentes del CIP La Raya de la Universidad Nacional del Altiplano.

*Alimentación en confinamiento.* La dieta experimental fue el concentrado hecho con forrajes de heno de avena (*Avena sativa*) y heno de alfalfa (*Medicago sativa*), procesado a 12mmØ de tamaño de partícula, con adición de minerales (sal y rocsalfos), (Heinrichs *et al.*, 1999). Los animales fueron alimentados con concentrado fibroso controlado en su consumo M, IB, IA y AL; con cuatro etapas (filas), cuatro animales (columnas) y cuatro niveles de consumo (tratamientos) (Tabla 2).

**Tabla 2.** Cantidad de insumos en el concentrado fibroso, CIP La Raya-2017.

Insumo	Porcentaje %
Avena picada ( <i>Avena sativa</i> )	49.8%
Alfalfa picada ( <i>Medicago sativa</i> )	49.8%
Rocsalfos	0.2%
Sal	0.2%
Total	100%

La ración proveída para cada animal fue la misma en composición, variando solo la cantidad para cada uno y en cada etapa, siendo las dietas: mantenimiento (M)=  $PM \times 0.04\text{kg}$ ; intermedio bajo (IB)=  $PM \times 0.05\text{kg}$ ; intermedio alto (IA)=  $PM \times 0.06\text{kg}$  y ad libitum (AL)=  $PM \times 0.07\text{kg}$ ; donde PM= Peso metabólico = (peso vivo)<sup>0.75</sup>, los datos se expresaron sobre la base del peso corporal metabólico (Garrett *et al.*, 1959); la distribución del alimento se realizó.

*Instalaciones y equipo para el estudio en confinamiento.* Los rediles necesarios fueron 8 jaulas, con medidas de 1.2m x 2.5m, construido con rollizos de eucalipto, fijados con pernos metálicos, y techo de calamina; en éstos se les suministró el concentrado fibroso. La cámara de acumulación de gases fue la misma descrita anteriormente.

*Etapas pre experimental del consumo de concentrado fibroso.* La habituación al consumo de concentrado fibroso se realizó en un corral metálico de 18m<sup>2</sup>, por 15 días, luego se trasladó a las jaulas individuales.

#### *Etapas experimental para animales confinados*

El ensayo se realizó en 4 etapas, con 4 diferentes niveles (dietas) de concentrado fibroso, en 4 alpacas y 4 llamas, duró 15 días por cada etapa, en cada etapa se suministró un nivel de dieta de concentrado fibroso distinto a cada animal, los seis primeros días de cada etapa fue de habituación a la dieta establecida para cada animal, y a partir del séptimo día se realizó el registro de emisión de metano entérico (Tabla 3).

**Tabla 3.** Suministro de cuatro niveles de concentrado fibroso, CIP La Raya-2017.

	Animal 1	Animal 2	Animal 3	Animal 4
Etapas I	Mantenimiento	Intermedio bajo	Intermedio alto	Ad Libitum



Etapa II	Ad Libitum	Mantenimiento	Intermedio bajo	Intermedio alto
Etapa III	Intermedio alto	Ad Libitum	Mantenimiento	Intermedio bajo
Etapa IV	Intermedio bajo	Intermedio alto	Ad Libitum	Mantenimiento

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *Producción de metano entérico en alpacas al pastoreo*

Los resultados promedio encontrados fueron: 30.0±2.6 ppm, 17.7±1.9 g/d, 1.1±0.1 Mol/d y 43.2±4.6 L/d de metano. Los datos para el factor sexo no presentaron diferencia estadística ( $P>0.05$ ) (Tabla 4).

**Tabla 4.** Producción de metano entérico en alpacas al pastoreo, CIP La Raya-2017.

Variables	Machos	Hembras	Promedio
P.V. Kg./animal	60.3±3.9	49.4±4.7	54.83±7.1
IMS g/d/animal	1320.6±263.4	908.5 ±160.7	1114.5±298.9
ppm CH <sub>4</sub>	27.85±1.18	32.22±1.27	30.0±2.6
mg/20min CH <sub>4</sub>	30.3±2.0	27±3.4	28.65±3.09
mg/d CH <sub>4</sub>	18621.1±1.2	16769.92±2112.43	17695.51±1877.32
g/d CH <sub>4</sub>	18.6±1.2	16.8±2.1	17.7±1.9
Mol/d CH <sub>4</sub>	1.2±0.1	1.1±0.13	1.1±0.1
L/d CH <sub>4</sub>	45.5±3.0	41±5.2	43.2±4.6
L/Kg IMS CH <sub>4</sub>	34.8±7.5	46.9±4.3	40.9±8.6
L/W <sup>0.75</sup> CH <sub>4</sub>	2.1	2.2	2.2±0.2

Los resultados hallados fueron similares a 44.2±1.2 Lt/d de CH<sub>4</sub> para alpacas alimentadas con forraje entero en Quimsachata del Instituto Nacional de Innovación Agraria-Puno (Machaca *et al.*, 2015), también fueron parecidos a 18.8 g/d para ovejas alimentadas con heno de alfalfa (Pinares-Patiño *et al.*, 2003). La similitud de los resultados encontrados con otros estudios se debería, al uso del método y equipo de medición, al manejo, a la altitud y al medio ambiente muy parecido para cada estudio; sin embargo, los resultados de este estudio fueron ligeramente menores a 22.6 g/d reportados para alpacas y 31.1 g/d para ovejas alimentados con trébol blanco; también ligeramente menor a 19.1 g/d reportado para alpacas y 22.0 g/d para ovejas alimentados con pastos de Lotus, mediante la técnica trazador hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) (Pinares-Patiño *et al.*, 2003). La diferencia con otros estudios se debería a la técnica de medición utilizada, a la especie, al manejo, al medio geográfico y a la alimentación distinta para cada estudio; en cambio, nuestros datos fueron superiores a 20.1 Lt de metano/Kg de materia seca consumida reportado para camélidos de distintas especies (vicuña, llama y camello) alimentados con alfalfa en pellets, en Zürich-Suiza, a 408 m de altitud (Dittmann *et al.*, 2014), también fueron superiores a 14.9 g/d reportado para alpacas alimentados con heno de alfalfa (Pinares-Patiño *et al.*, 2003). Las diferencias entre los resultados hallados y otros estudios se deberían al efecto de la



altitud, a la alimentación, al manejo impuesto y al medio ambiente diferente para cada estudio; sin embargo, nuestros resultados fueron ligeramente menores a 18.3 g/d para ovinos (mayores a un año) alimentados con ensilado (Swainson *et al.*, 2011), mayores a 25 a 55 L/día (McAllister *et al.*, 1996), (Holter y Young, 1992). La diferencia existente entre los estudios se debería a la alimentación, al manejo, a la especie, a la altitud y al medio ambiente distinto para cada estudio.

Para vacunos reportaron 150 a 420 Lt de CH<sub>4</sub> /d.(Mc Allister *et al.*, 1996), (Holter y Young, 1992) y entre 250 y 500 litros/d de metano (Johnson y Johnson, 1995); además, 368 g/d para vacas lecheras pastoreados en leguminosas y gramíneas (Dini, 2012), 345-388 g/CH<sub>4</sub>/d para vacas lecheras (Westberg *et al.*, 2001). La diferencia existente se debería a que los vacunos son animales de mayor tamaño, por tanto, consumen mucho más alimento que los camélidos sudamericanos.

### *Producción de metano entérico en llamas al pastoreo*

Los resultados encontrados promedio fueron: 54.9±5.8 ppm, 36.2±3.4 g/d, 12.3±0.2 Mol/d y 88.2±8.3 L/d de metano. Los datos para el factor sexo no presentaron diferencia estadística (P>0.05) (Tabla 5).

**Tabla 5.** Producción de metano entérico en llamas al pastoreo, CIP La Raya-2017.

Variables	Machos	Hembras	Promedio
P.V. Kg/animal	114.5±13.1	90.1±6.3	102.3±16.1
IMS g/d/animal	1838.5±322.9	984.6±80.1	1411.57±505.7
ppm CH <sub>4</sub>	58.9±4.0	50.9±4.6	54.9±5.8
mg/20min CH <sub>4</sub>	529.91±36.47	474.49±42.63	502.2±47.9
mg/d CH <sub>4</sub>	38153.3±2626.1	34163.2±3069.4	36158.2±3397.3
g/d CH <sub>4</sub>	38.2±2.6	34.2±3.1	36.2±3.4
Mol/d CH <sub>4</sub>	2.4±0.2	2.1±0.2	2.3±0.2
L/d CH <sub>4</sub>	93.1±6.4	83.3±7.5	88.2±8.3
L/Kg IMS CH <sub>4</sub>	51.5±6.6	84.6±3.2	68.0±18.3
L/W <sup>0.75</sup> CH <sub>4</sub>	2.7	2.8	2.8±0.1

Los datos encontrados fueron superiores a 20,1 Lt de metano por Kg de materia seca consumida, reportado para camélidos de distintas especies (vicuña, llama y camello) alimentados con alfalfa en pellets, en Zürich-Suiza, a 408 m de altitud (Dittmann *et al.*, 2014); también fue superior a 25.43 ppm encontrado para alpacas de Quimsachata del Instituto Nacional de Innovación Agraria-Puno (Machaca *et al.*, 2015) y de igual forma fue superior a 3 ensayos (SF<sub>6</sub>): el primer ensayo con heno de alfalfa obteniendo 14.9 g/d en alpacas y 18.8 g/d en ovejas; el segundo ensayo con pastizales con trébol blanco obteniendo 22.6 g/d en alpacas y 31.1 g/d en ovejas y el tercer ensayo pastoreado en pastos de Lotus originando 19.1 g/d en alpacas y 22.0 g/d en ovejas (Lassey *et al.*, 2011); de igual forma fue superior a 18.3 g/d logrado para ovinos adultos (mayores de un año) alimentados con ensilado (Swainson *et al.*, 2011), también fue superior a 25 - 55 Lt/d en ovejas (Holter y Young, 1992), (McAllister *et al.*, 1996).



Las diferencias de los resultados se atribuirían a las distintas metodologías usadas, a la especie, a la alimentación, a la altitud, al ámbito geográfico, al manejo distinto para cada estudio efectuado.

Cotejando con vacunos, nuestros resultados fueron mucho menores, así con espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FTIR), se halló  $152.48 \pm 5.48$  ppm para vacas suplementadas con concentrado fibroso y  $166.26 \pm 7.95$  ppm para vacas del grupo control (Johnson y Johnson, 1995); además fue menor a 300 - 600 Lt de metano/animal/día en vacas adultas con pruebas *in vitro* (Jouany, 1994); también a 368 g/d en vacas Holando en lactación alimentadas al pastoreo con leguminosas y gramíneas (Dini *et al.*, 2012); asimismo, a 345-388 g/d en vacas lecheras con afines niveles de consumo y de producción (Westberg *et al.*, 2001) y además fue menor a 911.7 L/d, con variación entre 20 a 32 %, con un promedio 247 Lt/d de CH<sub>4</sub> obtenido mediante la técnica por colecta directa del rumen con una fístula hacia un contenedor de nylon (Cárdenas y Flores, 2012).

Las diferencias de los hallazgos entre bovinos y camélidos, se puede atribuir a la alimentación, ámbito geográfico, a las variedades de microorganismos propios de cada especie y principalmente al tamaño animal diferente para cada investigación.

#### *Producción de metano entérico en alpacas a diferentes niveles de consumo de concentrado fibroso*

Los resultados encontrados presentaron diferencia estadística para diferentes niveles de consumo de concentrado fibroso ( $P < 0.05$ ), siendo la ración de mantenimiento menor y diferente a las demás; en cambio las cantidades de intermedio bajo, intermedio alto y ad libitum presentaron igual rendimiento. La diferencia entre niveles de consumo es atribuida a la cantidad de alimento suministrado entre la dieta de mantenimiento y el resto de raciones (Tabla 6).

**Tabla 6.** Producción de metano entérico en alpacas a diferentes niveles de consumo, CIP La Raya-2017.

Variabes	Mantenimiento	Intermedio bajo	Intermedio alto	Ad libitum	Promedio
P. V.	$59.5 \pm 3.7$	$60.9 \pm 4.3$	$62.2 \pm 4.2$	$62.2 \pm 3.7$	$61.2 \pm 3.76$
Ppm	$33.3 \pm 5.4$	$44.4 \pm 7.8$	$45.1 \pm 5.5$	$45.9 \pm 6.4$	$42.1 \pm 7.79$
Gr/día	$16.8 \pm 2.7^b$	$22.4 \pm 3.9^a$	$22.7 \pm 2.8^a$	$23.1 \pm 3.2^a$	$21.24 \pm 3.94$
Moles/día	$1.0 \pm 0.2^b$	$1.4 \pm 0.2^a$	$1.4 \pm 0.2^a$	$1.4 \pm 0.2^a$	$1.31 \pm 0.26$
Litros/día	$40.1 \pm 6.5^b$	$53.5 \pm 9.4^a$	$54.3 \pm 6.6^a$	$55.3 \pm 7.7^a$	$50.81 \pm 9.37$

Los resultados hallados fueron superiores a lo reportado para alpacas en 3 pruebas (con técnica de SF<sub>6</sub>), en el primer ensayo con heno de alfalfa obtuvieron 14.9 g/d en alpacas y 18.8 g/d en ovejas; en el segundo en pastizales de trébol blanco lograron 22.6 g/d en alpacas y 31.1 g/d en ovejas; y en el tercer ensayo con pastoreo en pastos de Lotus consiguieron 19.1 g/d en alpacas y 22.0 g/d en ovejas (Lasey *et al.*, 2011); también fue superior a  $44.2 \pm 1.2$  CH<sub>4</sub> Lt/d encontrado para alpacas alimentadas





con forraje entero en Quimsachata del Instituto Nacional de Innovación Agraria-Puno (Machaca *et al.*, 2015). Las diferencias entre los estudios podrían atribuirse a la cantidad de alimento consumido, al método de medición, al manejo de animales y a la alimentación distinta para cada investigación.

#### *Producción de metano entérico en llamas a diferentes niveles de consumo de concentrado fibroso*

Los resultados encontrados presentaron diferencia estadística a diferentes niveles de consumo de concentrado fibroso ( $P < 0.05$ ), siendo la ración de ad libitum mayor y diferente a las demás asignaciones; en cambio las raciones en cantidades de mantenimiento, intermedio bajo, intermedio alto fueron diferentes entre sí. La diferencia se puede atribuir a la cantidad de alimento suministrado entre la dieta de ad libitum y las demás cantidades asignadas (Tabla 7).

**Tabla 7.** Producción de metano entérico en llamas a diferentes niveles de consumo, CIP La Raya-2017.

Variables	Mantenimiento	Intermedio bajo	Intermedio alto	Ad libitum	Promedio
P. V.	100±13.2	101.5±15.3	104.2±13.3	103.5±12.5	102.3±12.3
Ppm	53.7±4.1	60.2±6.9	68.2±9.4	77.9±9.9	65±11.7
Gr/día	26.9±2.1 <sup>d</sup>	30.1±3.3 <sup>c</sup>	34±4.7 <sup>b</sup>	38.9±4.8 <sup>a</sup>	32.46±5.8
Moles/día	1.7±0.1 <sup>d</sup>	1.9±0.2 <sup>c</sup>	2.1±0.3 <sup>b</sup>	2.4±0.3 <sup>a</sup>	2.02±0.37
Litros/día	64.4±4.9 <sup>d</sup>	72.3±8.2 <sup>c</sup>	81.8±11.2 <sup>b</sup>	93.4±11.7 <sup>a</sup>	77.97±13.96

Los resultados fueron superiores a 20.1 Lt de metano por Kg de materia seca consumida, reportado para camélidos de distintas especies (vicuña, llama y camello) alimentados con alfalfa en pellets, en Zürich-Suiza, a 408 m de altitud (Dittmann *et al.*, 2014); igualmente fue superior a 25.43 ppm de metano encontrado para alpacas de Quimsachata del Instituto Nacional de Innovación Agraria-Puno (Machaca *et al.*, 2015); asimismo, fueron superiores a los datos encontrados en 3 pruebas (con técnica de SF<sub>6</sub>) para emisión de metano: en la primera prueba con heno de alfalfa obtuvieron 14.9 g/d en alpacas y 18.8 g/d en ovejas; en el segundo con pastizales de trébol blanco lograron 22.6 g/d en alpacas y 31.1 g/d en ovejas y en el tercero con pastoreo en pastos de Lotus consiguieron 19.1 g/d en alpacas y 22.0 g/d en ovejas (Lassey *et al.*, 2011).

La diferencia entre los resultados encontrados con otros estudios se podría atribuir a las técnicas empleadas, al manejo de los animales, a la especie animal, a la alimentación ofrecida, a la cantidad de alimento consumido y medio geográfico distintos para cada investigación ejecutada.

#### *Deducción de la producción de metano entérico en alpacas y llamas en el Perú*

Conociendo la producción de metano entérico promedio por día para alpacas y llamas, además, sabiendo la cantidad de éstos animales a nivel nacional se dedujo la contribución del metano por año y su participación en banco de los GEI, y por tanto su efecto en la salud pública (Tabla 8).

**Tabla 8.** Deducción de la producción de metano entérico en el Perú-2017.

Especie	Mol/día	Lt/día	Nº Anim.	Lt/d/año	TM/año	Tg/año
Alpacas	1.17	45.74	3'685,516	1,677'995,502	927,982.36	0.927
Llamas	2.18	84.78	746,269	63'268,685.82	350,374.31	0.35
Total				1,741'264,188	1'278,356.67	1.277

De acuerdo a los resultados deducidos, las alpacas y las llamas en el Perú contribuyen al banco de los GEI; en tal sentido, participan en la contaminación ambiental, en el cambio climático y en el calentamiento global. En efecto, el metano está alterando, de forma directa o indirecta, todas las dimensiones de la vida social e individual; lo económico, lo político, lo educativo, lo cultural y la salud. Existen un sinnúmero de evidencias objetivas y subjetivas que día a día se hacen más notorias y catastróficas como: sequías, inundaciones, incendios, epidemias y migraciones atípicas en tiempo y lugar, y si continúa así las futuras generaciones están en riesgo al igual que su sostenibilidad (Gutiérrez *et al.*, 2017). El cambio del clima mundial afecta el funcionamiento de muchos ecosistemas y de las especies que los integran, incluida la humana, con pocos efectos beneficiosos; la mayoría de las secuelas del cambio climático en la salud son adversas. Estos cambios en los sistemas humanos y naturales se prevén graves, de largo alcance y capaces de afectar mucho a los grupos poblacionales más vulnerables física y económicamente (Manuel *et al.*, 2015).

Además, el cambio climático influye en los determinantes sociales y medioambientales de la salud, como, un aire limpio, agua potable, alimentos suficientes y una vivienda segura. Se prevé, entre 2030 y 2050, el cambio climático causará unas 250.000 defunciones adicionales cada año, debido a la malnutrición, el paludismo, la diarrea y el estrés calórico. Se calcula que, el costo de los daños directos para la salud (excluyendo los costos en los sectores determinantes para la salud, la agricultura, el agua y el saneamiento) se ubica entre 2000 y 4000 millones de dólares (US\$) de aquí a 2030. Las zonas con malas infraestructuras sanitarias-situadas en los países en desarrollo- serán los más afectados si no reciben ayuda (OMS, 2018).

No obstante, el Perú, aún pasa por un periodo de transición de factores de riesgo ambientales, ya que coexisten riesgos tradicionales y modernos, persistiendo los problemas infecciosos asociados con problemas crónicos, por problemas de contaminación de agua y del aire. Además, el Perú está sujeto a la variación climática producto del fenómeno de El Niño, con mayores frecuencias y severidad, y por la probable extensión del área afectada por vectores de enfermedades infecciosas. Este fenómeno se manifiesta con lluvias intensas en la zona desértica de la costa norte y con graves sequías en la región sur, especialmente alto andina, elevación de la temperatura del mar y disminución de la temperatura en la selva (Gonzales *et al.*, 2014).

#### *Efecto del metano emanado por los camélidos en la salud de la población del área de influencia*

Para indagar algunos probables efectos del metano producido por los camélidos sudamericanos domésticos en la salud de la población del área de influencia se realizó encuestas a cuarenta productores. Las dolencias prevalentes referidas fueron sensaciones de asfixia, dolor de cabeza, náuseas, irritación de mucosa nasal, estornudos, irritación de mucosa ocular e irritación de mucosa

laríngea, que se hicieron presentes con cantidades mayores a 300 animales y siempre dentro de los corrales. Además, revelan otros males menos aludidos. Estos hallazgos pueden deberse, probablemente, al efecto del metano producido por los camélidos sudamericanos domésticos; sin embargo, podría deberse, también, a otras dolencias ocultas y no diagnosticadas.

Los resultados encontrados coinciden con otros autores que indican, el metano, una vez inhalado irrita toda la mucosa nasal, bucal, auditiva y ocular, además de la parte pulmonar. Desde la mucosa nasal llega hasta faringe y tráquea, pasa a pulmones creando irritaciones tan severas que llega a producir neumonitis química, un proceso inflamatorio que altera el intercambio de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, de los pulmones pasa a sangre, de sangre al cerebro, del cerebro al sistema nervioso central y del sistema nervioso central, al corazón (EEA, 2013), (PRTR, 2013).

## CONCLUSIONES

La producción de metano en alpacas, al pastoreo y en confinamiento, fue 1.17 moles/día, equivalente a 45.74 litros/día. Con estos datos las alpacas en el Perú estarían aportando a los GEI con 1,677'995,502 litros/día, semejante a 927,982.36 TM/año o 0.93 Tg/año de metano entérico.

La producción de metano en llamas, al pastoreo y en confinamiento, fue 2.18 moles/día equivalente a 84.78 litros/día. Con estos datos las llamas en el Perú estarían aportando a los GEI con 63'268,685.82 litros/día equivalente a 350,374.31 TM/año o 0.35 Tg/año de metano entérico.

Los camélidos sudamericanos domésticos en el Perú producen metano entérico y aportan al banco de los GEI con 1,741'264,188 Lt/año equivalente a 1'278,356.67 TM/año y 1.277 Tg/año participando en la contaminación ambiental, en el cambio climático y en el calentamiento global; en consecuencia, alterando la salud pública. La acción negativa del metano producido por los camélidos sudamericanos sobre la salud de la población del área de influencia no es perceptible en su integridad; e inclusive los signos y síntomas presentes al momento del estudio también podrían ser ocasionados por otras enfermedades.

## LITERATURA CITADA

- Booyse, D., Harmse, G. y Boomker, E. (2009). Construction and insertion of oesophageal cannulae for use in domestic ruminants. *Journal of the South African Veterinary Association*, 80(4), 270–3.
- Bryant, F. y Farfan, R. (1984). Dry Season Forage Selection by Alpaca [Lama pacos] in Southern Peru. *Journal of Range Management*, 37(4), 330–333. <https://doi.org/10.2307/3898705>
- Cárdenas, J. y Flores, C. (2012). Emisión de metano entérico por rumiantes y su contribución al calentamiento global y al cambio climático. Revisión. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*.
- Dini, Y., Gere, J., Briano, C., Manetti, M., Juliarena, P., Picasso, V. y Astigarraga, L. (2012). Methane emission and milk production of dairy cows grazing pastures rich in legumes or rich in grasses in Uruguay. *Animals*, 2(2), 288–300. <https://doi.org/10.3390/ani2020288>
- Dittmann, M., Runge, U., Lang, R., Moser, D., Galeffi, C., Kreuzer, M. y Clauss, M. (2014). Methane emission by camelids. *PLoS ONE*, 9(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094363>
- Doreau, M., Van der Werf, H., Micol, D., Dubroeuq, H., Agabriel, J., Rochette, Y. y Martin, C. (2011). Enteric methane production and greenhouse gases balance of diets differing in concentrate in the fattening phase of a beef production system. *Journal of Animal Science*, 89(8), 2518–2528. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3140>
- EEA, Copenhagen, 2013. (2013). *Every breath we take Improving air quality in Europe*. (2013 Luxembourg: Publications Office of the European Union, Ed.). Denmark. <https://doi.org/10.2800/82831>
- Forster, P. (2007). 2: Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In *Climate Change 2007: The Physical Science Basis* (p. 137).
- García, W., San Martín, F., Novoa, C. y Franco, E. (2002). Engorde de llamas bajo diferentes regímenes alimenticios. *Rev*

- Inv Vet Perú*, 13(2), 1–9.
- Garrett, W., Meyer, J. y Lofgreen, G. (1959). The Comparative Energy Requirements of Sheep and Cattle for Maintenance and Gain. *Journal of Animal Science*, (2).
- Gasmet Technologies Oy. (2012). *Instruction and Operating Manual Version E1.18 (5.12.2012)*. Finland.
- Genin, D., Abasto, P., Choque, S. y Magne, J. (2002). Dung ash treatment of a native forage to improve livestock feeding in low-input Andean pastoral systems. *Livestock Research for Rural Development*, 14(2), 41–48.
- Gonzales, G., Zevallos, A., Gonzales-Castañeda, C., Núñez, D., Gastañaga, C., Cabezas, C. y Steenland, K. (2014). Contaminación ambiental, variabilidad climática y cambio climático: una revisión del impacto en la salud de la población peruana. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*, 31(3), 547–556.
- Goopy, J., Woodgate, R., Donaldson, A., Robinson, D., y Hegarty, S. (2011). Validation of a short-term methane measurement using portable static chambers to estimate daily methane production in sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 166–167, 219–226. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.012>
- Gutiérrez, J., García, M., Tapia, C., Escobedo, J. y Mayorga, E. (2017). *Biocenosis : revista de educación ambiental. Biocenosis* (Vol. 31).
- Heinrichs, A., Buckmaster, D. y Lammers, B. (1999). Processing, mixing, and particle size reduction of forages for dairy cattle. *Journal of Animal Science*, 77(1), 180–186.
- Holter, J. y Young, A. (1992). Methane Prediction in Dry and Lactating Holstein Cows. *Journal of Dairy Science*, 75(8), 2165–2175. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(92\)77976-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(92)77976-4)
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2013a). Censo estadístico del Perú 2013 (Tomo I). Lima, Perú.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2013b). *Resultados Definitivos. IV Censo Nacional Agropecuario 2012*. Lima, Perú.
- Johnson, K. y Johnson, D. (1995). Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science*, 73(8), 2483–2492. <https://doi.org/10.2527/1995.7382483x>
- Jouany, J. (1994). Manipulation of microbial activity in the rumen. *Archiv Für Tierernährung*. <https://doi.org/10.1080/17450399409381766>
- Lassey, K., Pinares-Patiño, C., Martin, R., Molano, G. y McMillan, A. (2011). Enteric methane emission rates determined by the SF6 tracer technique: Temporal patterns and averaging periods. *Animal Feed Science and Technology*, 166–167, 183–191. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.066>
- Machaca, M., Quispe, C., Castro, A., Arroyo, G., Huanca, T., Roque, B. y Huanca, W. (2015). Efecto de Dos Dietas Fibrasas en la Producción de Metano en Alpacas. *RIA-UNA-PUNO*, 17, 1.
- Manuel, O., Rosa, C., Zuzel, O. y Jorge Luis, O. (2015). Variabilidad y cambio climáticos: su repercusión en la salud. *MEDISAN*, 19(7), 873–885.
- McAllister, T., Cheng, K., Okine, E. y Mathison, G. (1996). Dietary, environmental and microbiological aspects of methane production in ruminants. *Canadian Journal of Animal Science*, 76(2), 231–243. <https://doi.org/10.4141/cjas96-035>
- Montzka, S., Dlugokencky, E. y Butler, J. (2011). Non-CO2 greenhouse gases and climate change. *Nature*, 476(7358), 43–50. <https://doi.org/10.1038/nature10322>
- OMS. (2018). *Cambio climático y salud*. Ginebra, Suiza.
- Pinares-Patiño, C., Ulyatt, M., Waghorn, G., Lassey, K., Barry, T., Holmes, C. y Johnson, D. (2003). Methane emission by alpaca and sheep fed on lucerne hay or grazed on pastures of perennial ryegrass/white clover or birdsfoot trefoil. *Journal of Agricultural Science*, 140(2), 215–226. <https://doi.org/10.1017/S002185960300306X>
- PRTR España. (2013). CH4 Metano. Registro estatal de emisiones y fuentes contaminantes.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú-Puno. (2016). Información del tiempo y clima.
- Swainson, N., Brookes, I., Hoskin, S. y Clark, H. (2011). Post-experiment correction for release rate in permeation tubes improves the accuracy of the sulphur hexafluoride (SF6) tracer technique in deer. *Animal Feed Science and Technology*, 166–167, 192–197. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.010>
- Van Dyne, G. y Heady, H. (1965). Botanical composition of sheep and cattle diets on a mature annual range. *Hilgardia*, 36, 465–492.
- Van Dyne, G. y Torell, D. (1964). Development and use of the esophageal fistula: a review. *J. Range Manage.*, 17(1), 7–19.
- West, J. (2004). The physiologic basis of high-altitude diseases. *Annals of Internal Medicine*. <https://doi.org/141/10/789> [pii]
- Westberg, H., Lamb, B., Johnson, K. y Huyler, M. (2001). Inventory of methane emissions from U.S. cattle. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 106(D12), 12633–12642. <https://doi.org/10.1029/2000JD900808>
- Yiakoulaki, M. y Nastis, A. (1998). A modified faecal harness for grazing goats on Mediterranean shrublands. *Journal of Range Management*, 51(5), 545–546.
- Dini, Y. (2012). Emisión de metano entérico de vacas lecheras en pastoreo de praderas dominadas por gramíneas o por leguminosas. Universidad de la república de Uruguay.