

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
PROGRAMA DE DOCTORADO
DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA SALUD



TESIS

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

PRESENTADA POR:

URIEL SANTIAGO MARCA CHOQUE

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIAS DE LA SALUD

PUNO, PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA DE POSGRADO

PROGRAMA DE DOCTORADO

DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA SALUD



TESIS

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

PRESENTADA POR:

URIEL SANTIAGO MARCA CHOQUE

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIAS DE LA SALUD

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

.....
Dra. FELÍCITAS RAMOS QUISPE

PRIMER MIEMBRO

.....
Dr. JORGE LUÍS MERCADO PORTAL

SEGUNDO MIEMBRO

.....
Dr. FELIPE SANTIAGO AMACHI FERNÁNDEZ

ASESOR DE TESIS

.....
Ph.D. BERNARDO ROQUE HUANCA

Puno, 06 de junio de 2018.

ÁREA: Ciencias de la Salud.

TEMA: Metano en la Salud Pública.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Problemas de Salud Pública.

DEDICATORIA

Al Dios divino, por posibilitarme la vida, y estar siempre conmigo cuando más lo necesito, dándome fuerzas para continuar en los momentos más difíciles de mi existencia.

A la memoria de mis padres Félix Maximiliano y Albina, por haberme dado la vida a su imagen y semejanza.

A mis hijos Karen Beatriz, Heros Benhur y Aarón Elvis, por ser para mí la razón de vivir.

A mi esposa y compañera, por comprenderme y compartir las adversidades de la vida.

A mi familia y seres queridos por apoyarme en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, mi querida alma mater.
- Al programa de doctorado de la Escuela de Pos grado y a mis maestros.
- Al PhD. Bernardo Roque Huanca, por darme la oportunidad de participar en el proyecto: Requerimientos nutricionales de los camélidos mediante la técnica de sacrificio comparativo: contraste entre llamas y alpacas.
- A los jurados Dra. Felicitas Ramos Quispe, Dr. Jorge Mercado Portal y Dr. Felipe Santiago Amachi Fernández, por su rigor académico.
- A los compañeros tesisistas del proyecto: Max Brandon Choquemamani Mamani, Nury Fátima Antonieta Quispe Chacón y José Alberth Pari Huacani, por su apoyo logístico.
- Al personal docente y administrativo del Centro de Investigación y Producción La Raya.

INDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
INDICE GENERAL.....	iii
ACRÓNIMOS.....	vii
ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
RESÚMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I**PROBLEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN**

1.1 Planteamiento de la investigación	2
1.2 Justificación	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo general	4
1.3.2 Objetivos específicos	4

CAPÍTULO II**MARCO TEÓRICO**

2.1 La alpaca	5
2.2 La llama	6
2.3 Rasgos del estómago de los camélidos sudamericanos	7
2.4 Fisiología digestiva de los camélidos sudamericanos	8

2.5	Alimentación en alpacas	9
2.6	Alimentación en llamas	9
2.7	Gases de efecto invernadero	10
2.8	Metano.....	11
2.9	Metano atmosférico.....	11
2.10	Metano entérico en camélidos sudamericanos.....	13
2.11	Metanógenos del rumen: archaeas	22
2.12	Patrón diario de emisiones de metano entérico	24
2.13	Factores que afectan la producción de metano.....	25
2.14	Digestibilidad de pastos en camélidos sudamericanos.....	27
2.15	Consumo de materia seca en camélidos sudamericanos.....	29
2.16	Medición de emisiones de metano entérico	29
2.17	Calentamiento global	32
2.18	Cambio climático.....	33
2.19	Efectos del metano sobre la salud pública	35
2.20	Algunas dolencias causadas por aspiración de metano	38

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1	Lugar de estudio	40
3.2	Instalaciones	41
3.3	Animales	41
3.4	Alimentación de alpacas y llamas al pastoreo	41
3.5	Materiales y equipos para el estudio en alpacas y llamas al pastoreo....	42
	3.5.1 Materiales.....	42
	3.5.2 Equipos	42

3.6	Procedimiento para medir metano en alpacas y llamas al pastoreo	43
3.6.1	Etapa pre-experimental	43
3.6.2	Etapa experimental.....	44
3.7	Animales y alimentación en confinamiento.....	45
3.8	Instalaciones y equipos para el estudio en confinamiento	47
3.9	Procedimiento general en la medición del metano entérico.....	48
3.10	Cálculo del volumen corporal	50
3.11	Procedimiento en laboratorio	52
3.12	Cálculo del consumo de materia seca en animales al pastoreo	52
3.13	Método de la ceniza insoluble en ácido	53
3.14	Determinación de fibra detergente neutro	54
3.15	Análisis estadístico.....	56

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Producción de metano en alpacas y llamas al pastoreo.....	58
4.1.1	Producción de metano entérico en alpacas al pastoreo	58
4.1.2	Producción de metano entérico en llamas al pastoreo	60
4.1.3	Consumo de materia seca en alpacas al pastoreo	62
4.1.4	Consumo de materia seca en llamas al pastoreo	63
4.1.5	Selectividad de pastos en alpacas al pastoreo	64
4.1.6	Selectividad de pastos en llamas al pastoreo	65
4.2	Producción de metano en alpacas y llamas en confinamiento	66
4.2.1	Producción de metano entérico en alpacas a diferentes niveles de consumo de concentrado fibroso	66

4.2.2 Producción de metano entérico en llamas a diferentes niveles de consumo de concentrado fibroso	67
4.3 Deducción de la producción de metano entérico en alpacas y llamas en el Perú	68
4.4 Efecto del metano emanado por los camélidos en la salud de la población del área de influencia	70
CONCLUSIONES	73
RECOMENDACIONES	74
BIBLIOGRAFÍA	75
ANEXOS.....	96

ACRÓNIMOS

AGVs: Ácidos grasos volátiles.

CH₄: Metano

C1: Primer compartimento

C2: Segundo compartimento

C3: Tercer compartimento

CH₄: Metano

CIA: Ceniza insoluble en acido.

CO₂: Dióxido de carbono

CSA: Camélidos sudamericanos

DMS: Digestión de materia seca.

EB: Energía bruta

FDN: Fibra detergente neutro.

FTIR: Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier

GEI: Gases de efecto invernadero

HCl: Ácido clorhídrico

H₂: Hidrogeno.

IMS: Ingestión de materia seca

mmHg: milímetros de mercurio

MS: Materia seca

N₂O: Óxido nitroso

OH: Radical hidroxilo

O₃: Ozono troposférico

PDA: Asistente personal digital.

P^{0.75}: Peso metabólico

Ph: Presión atmosférica.

ppmv: Volumen partes por millón.

R: Constante universal de los gases.

SDN: Solución detergente neutro

SF₆: Hexafluoruro de azufre.

Sp: Especie.

T: Temperatura.

Tg: Tera gramos.

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
1. Metano producido por fermentación entérica a nivel mundial 2006.	21
2. Número de alpacas y llamas incluidas en el estudio.	41
3. Cantidad de insumos en el concentrado fibroso.	46
4. Suministro de cuatro niveles de concentrado fibroso.	48
5. Producción de metano entérico en alpacas al pastoreo.	58
6. Producción de metano entérico en llamas al pastoreo.	60
7. Selectividad de pastos en alpacas al pastoreo.	64
8. Selectividad de pastos en llamas al pastoreo.	65
9. Producción de metano en alpacas a diferentes niveles de consumo.	66
10. Producción de metano en llamas a diferentes niveles de consumo.	67
11. Deducción de la producción de metano entérico en el Perú 2017.	68
12. Selectividad de pastos en alpaca macho.	97
13. Selectividad de pastos en alpaca hembra.	97
14. Selectividad de pastos en llamas machos.	97
15. Selectividad de pastos en llamas hembras.	97
16. Materia seca en dieta de alpacas machos.	98
17. Materia seca en dieta de alpacas hembras.	98
18. Materia seca en dieta de llamas machos.	98
19. Materia seca en dieta de llamas hembras.	98
20. Materia seca en heces de alpacas machos.	99
21. Materia seca en heces de alpacas hembras.	99
22. Materia seca en heces de llamas machos.	99
23. Materia seca en heces de llamas hembras.	99

24. Peso de heces en alpacas machos.	100
25. Peso de heces en alpacas hembras.	100
26. Ceniza insoluble en dieta de alpacas machos.	100
27. Ceniza insoluble en dieta de alpacas hembras.	101
28. Ceniza insoluble en heces de alpacas machos.	101
29. Ceniza insoluble en heces de alpacas hembras.	101
30. Peso de heces en llamas machos.	102
31. Peso de heces en llamas hembras.	102
32. Producción de metano en alpacas machos.	102
33. Producción de metano en alpacas hembras.	103
34. Ceniza insoluble en dieta de llamas machos.	103
35. Ceniza insoluble en dieta de llama hembras.	103
36. Ceniza insoluble en heces de llamas machos.	104
37. Ceniza insoluble en heces de llamas hembras.	104
38. Producción de metano en llamas machos.	104
39. Producción de metano en llamas hembras.	105
40. Producción de metano en alpacas a distintos niveles de consumo.	105
41. Producción de metano en llamas a distintos niveles de consumo.	105
42. Producción de metano en alpacas: mantenimiento.	106
43. Producción de metano en alpacas: intermedio bajo.	106
44. Producción de metano en alpacas: intermedio alto.	106
45. Producción de metano en alpacas: ad libitum.	106
46. Producción de metano en llamas: mantenimiento.	107
47. Producción de metano en llamas: intermedio bajo.	107
48. Producción de metano en llamas: intermedio alto.	107

49. Producción de metano en llamas: ad libitum.....	107
50. Cuadrado latino, emisión de metano, alpacas, g/día.	108
51. Cuadrado latino, emisión de metano, alpacas, mol/día.....	108
52. Cuadrado latino, emisión de metano, alpacas, Lt/día.	108
53. Cuadrado latino, emisión de metano, llamas, g/día.	108
54. Cuadrado latino, emisión de metano, llamas, mol/día.....	109
55. Cuadrado latino, emisión de metano, llamas, Lt/día.	109
56. Tipo de crianza.	109
57. ¿Tuvo alguna enfermedad anterior?.....	109
58. ¿Sabe si existe el metano?	109
59. ¿Sabe si los camélidos sudamericanos producen metano?	110
60. ¿Sabe si afecta la salud humana?.....	110
61. ¿Ha notado un olor raro?.....	110
62. ¿En qué lugar percibe el olor raro?.....	110
63. ¿Con que cantidad de camélidos sudamericanos siente ese olor?.....	110
64. ¿Otras molestias donde lo sintió?.....	110
65. ¿Sintió asfixia?	111
66. ¿Sintió mareos?	111
67. ¿Sintió dolor de cabeza?	111
68. ¿Sintió nauseas?.....	111
69. ¿Sintió letargo?	111
70. ¿Sintió sueño?.....	112
71. ¿Perdió el conocimiento?	112
72. ¿Sintió irritación nasal?	112
73. ¿Usted estornudó?	112

74. ¿Sintió irritación bucal?	112
75. ¿Sintió irritación ocular?	113
76. ¿Sintió irritación auditiva?	113
77. ¿Sintió irritación laríngea?	113
78. ¿Sintió palpitación del corazón?	113
79. ¿Sintió dolor renal?	113

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Cámara de respiración de circuito abierto.	30
2. Calculo del volumen corporal en alpacas y llamas.	52
3. Desvío alambrado	114
4. Analizador Gasmeter DX 4030	114
5. Cámara de acumulación de gases	114
6. Analizador de gases Gasmeter DX 4030 en cámara	114
7. Ingreso de alpacas a la cámara.....	115
8. Registro de metano entérico en alpacas	115
9. Ingreso de llamas a la cámara	115
10. Registro de metano entérico en llamas	115
11. Registro de peso vivo.....	116
12. Medidas corporales	116
13. Colección de heces	116
14. Pesado de heces frescas	116
15. Cánulas esofágicas	117
16. Cánula en el esófago	117
17. Alpacas con fistula al pastoreo	117
18. Ingesta recuperada	117
19. Trozo más cercano al centro de la planta.....	118
20. Trozos de tallos y hojas.....	118
21. Secado de ingesta.....	118
22. Muestras en horno mufla.....	118
23. Ebullición de muestra	119

24. Picado de avena y alfalfa	119
25. Pesado de insumos minerales	119
26. Mezcla de concentrado fibroso.....	119
27. Embolsado y pesado de concentrado fibroso	120
28. Ración de concentrado fibroso	120
29. Inicio de consumo de concentrado fibroso	120

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
1. Selectividad de especies vegetales en alpacas y llamas al pastoreo	97
2. Materia seca en alimento consumido al pastoreo	98
3. Materia seca en heces, ceniza insoluble en ácido y metano entérico en alpacas y llamas al pastoreo	99
4. Producción de metano en camélidos en confinamiento	105
5. Resultados de encuestas a criadores de camélidos	109
6. Figuras del estudio producción de metano en CSA	114
7. Ficha de encuesta a criadores de camélidos	121

RESÚMEN

La investigación se desarrolló en el Centro de Investigación y Producción La Raya de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, ubicado a 4200 m de altitud, con el objetivo de evaluar la producción de metano en camélidos sudamericanos domésticos y su efecto en la salud pública, utilizando 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 conformada por 14 alpacas y 14 llamas. Los resultados hallados 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 contribuye al banco de los gases de efecto invernadero y por lo tanto afecta la salud pública. Algunas dolencias frecuentes en la población del área de influencia fueron asfixia, 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 de encierro.

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

ABSTRACT

The research was carried out at the La Raya Research and Production Center of the National University of the Altiplano of Puno, located at 4200 m altitude, with the objective of evaluating methane production in South American domestic camelids and their effect on public health, using a gas accumulation chamber and gas analyzer equipment (Gasmeter DX-4030). The work had two parts: a) methane produced with grazing animals and b) methane produced with animals in confinement. The sample consisted of 14 alpacas and 14 llamas. The results found 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 it contributes to the greenhouse gas bank and therefore affects public health. Some common 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 confinement pens.

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

INTRODUCCIÓN

Los camélidos sudamericanos domésticos (alpacas y llamas) son animales muy importantes en la zona andina; sin embargo, estas especies producen CH_4 entérico. El metano (CH_4), después del dióxido de carbono (CO_2), es el gas carbonado de efecto invernadero más potente en la atmósfera que se ha convertido en foco de atención del mundo debido a su capacidad para atrapar el calor con un poder de 25 veces más que el CO_2 , elevando los efectos de la radiación térmica solar y las temperaturas atmosféricas sobre la superficie¹.

No se sabe cuánto de metano entérico producen los camélidos que viven en los Andes; pero, puede ser similar o mayor que las emisiones registradas en altitudes cercanas al nivel del mar, debido a que su alimentación está constituida por pastos naturales² caracterizadas por su alto contenido en fibra detergente neutro, sobre todo en época seca³.

Igualmente, se desconoce los efectos del metano, producido por los camélidos, sobre la salud pública mediante la contaminación ambiental, el cambio climático y el calentamiento global⁴. Las enfermedades causadas por metano provienen de las inhalaciones agudas y crónicas; así, los síntomas más comunes de la intoxicación por gas metano incluyen mareos, dolor de cabeza, náuseas, somnolencia, pérdida del conocimiento entre otras alteraciones⁵.

Por las consideraciones expuestas se ejecutó la investigación a fin de conocer la realidad sobre la generación del gas metano en los camélidos sudamericanos domésticos y su efecto en la salud pública.

CAPÍTULO I

PROBLEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

Los camélidos sudamericanos domésticos (alpacas y llamas) son especies de gran valor productivo, económico, social y cultural que forman parte de la seguridad alimentaria de la población andina⁶ por la transformación de alimentos fibrosos en carne y residuos útiles, así como en la reducción de la pobreza, sobre todo en los países en vías de desarrollo⁷; pero, producen CH₄ entérico. El metano (CH₄) es un producto final de la fermentación que sufren los alimentos, que en términos de energía constituye una pérdida y en términos ambientales contribuye al calentamiento y al cambio climático global⁸. No se sabe cuánto de metano producen los camélidos sudamericanos que habitan en extrema altura, caracterizado por el consumo de pastos naturales con alto contenido en fibra detergente neutro; sin embargo, existen reportes para altitudes cercanas al nivel del mar que indican que puede ser similar o mayor que las emisiones registradas^{2,3}.

La inhalación prolongada de gas metano puede provocar asfixia al reducir el contenido de oxígeno en el aire, dando lugar a la pérdida de conocimiento e

incluso la muerte. Todas las personas no están expuestos normalmente a las emisiones de gas metano hasta el momento en que su inhalación los perjudique⁵. No existen estudios sobre la producción de metano en CSA en altura, tanto en la región como en el país, tampoco se sabe cómo este gas afecta la salud pública ni de la población del área de influencia, los resultados de la investigación servirán como información de base para estudios posteriores; por las consideraciones expuestas se planteó la ejecución del estudio producción de metano en camélidos y su impacto en la salud pública, que se condujo bajo la siguiente pregunta: ¿Cuál es la producción de metano en alpacas y llamas?, ¿Cuál es el efecto del metano producido por los camélidos en la salud pública?

1.2 JUSTIFICACIÓN

No se dispone de información fehaciente sobre la producción de metano entérico en camélidos sudamericanos domésticos en extrema altura, ni cuánto es su aporte en el banco de los GEI. Es preocupación mundial la producción de metano entérico generado por los animales rumiantes por el cambio climático y demás efectos nocivos ocasionados en la salud pública; por consiguiente, con los resultados de ésta investigación se tendrá conocimiento de la información carente, también se constituirá en punto de partida para la posterior mitigación de la producción de metano, la procura de un manejo adecuado de esta ganadería y para una mejor utilización de esta especie por parte de la población andina y consumidora, toda vez que constituye sustento productivo, económico, social, cultural y seguridad alimentaria de los criadores de camélidos⁶.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Determinar la producción de metano en camélidos sudamericanos domésticos y su efecto en la salud pública.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar la producción de metano en alpacas y llamas al pastoreo.
- Determinar la producción de metano en alpacas y llamas en confinamiento.
- Determinar el efecto del metano producido por alpacas y llamas en la salud pública.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 LA ALPACA

El Perú es el principal productor de alpacas en el mundo con una población aproximada de 3'685,516 unidades; posee el 87% de la población mundial, esta población alpaquera se concentra en la Sierra con 3'685,000 animales⁹. El 89.7% se encuentran principalmente en las zonas alto andinas de Puno, Cusco, Arequipa, Huancavelica y Apurímac. La raza Huacaya conforma 2'909,212 unidades; y Puno se considera la primera región en orden de importancia con 1'459,903 ejemplares¹⁰.

La alpaca, antes conocida como integrante del género Lama (*Lama pacos*), y actualmente perteneciente al género Vicugna (*Vicugna pacos*), es una especie de camélidos adaptada a ambientes de tierras altas de la cordillera de los Andes con una conducta alimenticia, estructura y función de su tracto digestivo adaptado a pastizales, capaz de seleccionar una dieta de alta calidad cuando sea disponible y de sobrevivir sobre forrajes fibrosos de baja calidad, remarcada productora de fibra y carne, que contribuye efectivamente al bienestar y subsistencia de las poblaciones de esos ambientes duros y difíciles. Existe confusión si los camélidos son rumiantes o pseudo-rumiantes; la confusión

deriva de la comparación de su estómago con el del vacuno, ovino o caprino¹¹. Por lo general, consideran rumiante al vacuno, ovino y caprino, por tener un estómago de cuatro cámaras¹² y pseudo-rumiante al camello, alpaca y llama, por tener un estómago de tres cámaras¹³. La discrepancia se complica cuando consideran también pseudo-rumiante al hipopótamo enano¹⁴, pecarí de collar¹⁵, conejo¹⁶ y hámster por tener fermentación pre gástrico¹⁷.

Por definición, el rumiante es un animal mamífero que obtiene sus nutrientes a partir de alimentos vegetales por fermentación microbiana en su estómago, después de remasticar el alimento consumido. Los camélidos, al margen de su estómago de tres cámaras remastican el alimento ingerido, por tanto, realizan la función de rumia, similar a como lo hacen los vacunos, ovinos y caprinos¹³. Si el concepto de pseudo-rumiante fuera correcto para los camélidos, estos deberían tener limitaciones para la digestión de los forrajes y el uso de los productos de la digestión; sin embargo, los estudios han demostrado que estas especies tienen similar¹⁸ o mejor capacidad digestiva que los ovinos¹⁹.

2.2 LA LLAMA

La llama después de la alpaca es numéricamente la especie más importante de los camélidos sudamericanos en el Perú, con una población de 746.269 unidades. Se caracteriza por su gran flexibilidad adaptativa ya que se la encuentra en un rango ecológico amplio entre altitudes que van desde 2,000 a 5,000 msnm, y en ambientes predominantemente áridos¹⁰.

Las llamas son más eficientes que los ovinos y vacunos en el aprovechamiento de los pastos fibrosos de baja calidad nutritiva, propios de los ambientes áridos alto andinos. Por su rusticidad y adaptabilidad a los variados pisos ecológicos, la

llama presta un servicio importante como animal de carga dentro del sistema agropecuario del pequeño criador, cumpliendo un rol importante en el contexto económico y social de la población andina. Estos animales son mantenidos en general por los productores hasta una edad avanzada (12-14 años), y al final de este período son beneficiados, de modo que la carne obtenida es de inferior calidad y es aprovechada mayormente como charqui²⁰.

2.3 RASGOS DEL ESTÓMAGO DE LOS CAMÉLIDOS SUDAMERICANOS

Los camélidos sudamericanos son herbívoros con un estómago conformado por 3 compartimentos o cámaras (C1, C2 y C3)²¹, los cuales alcanzan el 83%, 6% y 11% del volumen total del estómago, respectivamente. El primer compartimento (C1), a semejanza del compartimento ruminal de los rumiantes, contiene un ecosistema microbiano complejo que incluye bacterias, protozoos, arqueas y hongos y es donde ocurre la fermentación del forraje consumido, para el aprovechamiento de los vegetales fibrosos, un proceso fundamental para la nutrición del animal. El compartimento 1 (C1) es el más grande de los tres y está dividido en dos porciones, una craneal y otra caudal, por un pliegue muscular transversal. El C2 es el más pequeño y es la continuación del C1. El C3, que se origina en C2, está situado en el lado derecho del C1 y tiene forma tubular y alargada. Sólo en la parte final del C3 se produce la secreción de ácido clorhídrico. Se resalta la presencia de sacos glandulares en el estómago que les permite una eficaz maceración, mezclado y absorción de la digesta²². La mucosa glandular mucinógena está presente en todos los sectores del estómago, con excepción de la quinta parte distal del C3 que tiene estructura similar de los rumiantes, con diferencias en la disposición física²³. La composición de la dieta de los camélidos sudamericanos domésticos en su

hábitat natural, en condiciones hostiles de frío y altura, depende de la disponibilidad del alimento (cantidad y calidad), que varía según la época del año, carga animal y la selectividad individual. La dieta está formada mayormente por especies forrajeras con diferencias nutricionales, alto contenido de fibra y bajo contenido de proteína, los que son utilizadas para satisfacer sus requerimientos nutricionales. La mayor eficiencia digestiva de los CSA con alimentos de baja calidad nutricional estaría relacionada con el mayor tiempo de retención del alimento, con la mayor frecuencia de contracciones, mayores ciclos de rumia, la elevada capacidad buffer debido al mayor flujo de saliva, y a la composición y cantidad de los microorganismos que habitan el C1^{24, 25}.

2.4 FISIOLÓGÍA DIGESTIVA DE LOS CAMÉLIDOS SUDAMERICANOS

Entre la familia Camelidae y Bovidae no existe parentesco cercano, la rumia es un proceso adquirido independiente (evolución convergente). Los compartimentos del estómago de unos difieren estructural y funcionalmente de los compartimentos gástricos de los otros. No son homólogos, y no existe razón para seguir llamándolos con los mismos nombres con los inconvenientes aparejados. Dichas partes, o compartimientos, pueden desarrollarse en zonas distintas del esbozo gástrico; faltan estudios sobre la regulación y auto diferenciación del estómago de camellos y llamas para confrontarlos con los del bovino y óvidos. Los camélidos poseen tres compartimientos gástricos; los tres con áreas glandulares lo cual destituye cualquier intento de llamarlos proventrículos o reservorios; en los bovinos sólo una de las cuatro cavidades, la última, posee glándulas. La alpaca está provista de mecanismos tamponantes más eficientes que el ovino, y además el ovino y la alpaca a similares concentraciones de AGV tuvieron diferentes valores de pH, siendo el pH en

ovinos más bajo que en la alpaca. Este factor permitiría a los camélidos sudamericanos tener una mayor producción bacteriana debido a que las condiciones ácidas amplían los requerimientos energéticos de mantenimiento de las bacterias del estómago y además las bacterias celulolíticas son más sensibles y tienen menor producción a un bajo pH²⁶.

2.5 ALIMENTACIÓN EN ALPACAS

La composición botánica y la calidad de la dieta, varía de acuerdo a la estación del año y el sitio de pastizal (bofedal o altiplano). A medida que la estación seca progresa, las dietas de bofedales están formadas mayormente por juncáceas y ciperáceas (78%), mientras que los pastos del Altiplano, son mayormente gramíneas (68%). La alpaca en pastoreo, es altamente selectiva y consume los alimentos de su preferencia de acuerdo a la época del año. En época seca, prefiere dietas de *Eleocharis albibracteata* (Quemillo), *Poa spp.* (K'acho), *Calamagrostis heterophylla* (Crespillo), *Calamagrostis vicunarum* (Ñapha pasto), *Alchemilla pinnata* (Sillu sillu), *Muhlebergia fastigiata* (Grama dulce), y *Carex spp.* (Qoran qoran); las especies de menor abundancia, pero de alta preferencia son *Poa gymnantha* (Q'acho), *Muhlebergia peruviana* (Ñapha), *Stipa brachiphylla* (Granoichu), *Ranunculus limoselloides* (Isidro), y *Trifolium amabile* (Layo); mientras que *Festuca dolichophylla* (Chilliwa), a pesar de su abundancia en las praderas, tiene un bajo índice de preferencia; y más bien consumen considerables cantidades de semillas de gramíneas².

2.6 ALIMENTACIÓN EN LLAMAS

La fuente de alimentación de las llamas, mayormente, son las praderas de pastos naturales las que se caracterizan por un predominio de gramíneas con

escasa presencia de leguminosas. Consume forrajes fibrosos y secos como; *Festuca dolychophylla*, *Stipa brachyphylla*, *Calamagrostis vicunarum*, *Alchemilla pinnata*, *Distichia muscoides*. En el pastoreo, los camélidos sudamericanos consumen forrajes a una tasa de 46.8-48.8 g/W^{0.75}. Estos forrajes son 30% más bajo que los medidos en ovinos en condiciones iguales de pastoreo. Estas cifras equivalen al 2% del peso vivo; entonces para una llama de 40 Kg se estima un consumo diario de 800 g de MS²⁷.

2.7 GASES DE EFECTO INVERNADERO

El metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O), después del dióxido de carbono (CO₂), son los gases de efecto invernadero (GEI) más importantes debido a su propiedad de absorber los rayos infrarrojos y aumentar las temperaturas próximas a la superficie de la tierra, con impacto sobre el calentamiento global y el cambio climático²⁸; el potencial de calentamiento del CH₄ (o capacidad para atrapar el calor) es 25 y 298 veces más que el del CO₂, respectivamente, en un horizonte de 100 años²⁹.

Los rumiantes contribuyen con la seguridad alimentaria y nutricional de la población mundial, sin embargo, ese importante aporte tiene un alto costo ambiental debido a las emisiones de gases de efecto invernadero, tales como metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), que son responsables del calentamiento global y el cambio climático en una magnitud de 14.3% y 7.9%, respectivamente⁷. Los cálculos indican que para el año 2050, el consumo mundial de carne aumentará 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 alto³⁰.

2.8 METANO

El metano (del griego methy-vino, y el sufijo-ano) es el hidrocarburo alcano más sencillo, cuya fórmula química es CH_4 . Llamado inicialmente gas de los pantanos, porque nace en terrenos pantanosos y por descomposición de las sustancias orgánicas por la inexistencia de oxígeno en el aire. Cada uno de los átomos de hidrógeno está unido al carbono por medio de un enlace covalente. Es una sustancia no polar que se presenta en forma de gas a temperaturas y presiones ordinarias. Es incoloro, inodoro e insoluble en agua. En la naturaleza se produce como producto final de la putrefacción anaeróbica de las plantas. Muchos microorganismos anaeróbicos lo generan utilizando el CO_2 como aceptor final de electrones. Es un gas, químicamente y radiactivamente activo que contiene las radiaciones infrarrojas provocando un calentamiento global de la tierra. Es el primer componente gaseoso del medio natural y una importante fuente de energía. Sus concentraciones se están incrementando rápidamente en la atmosfera aumentado la polución ambiental³¹.

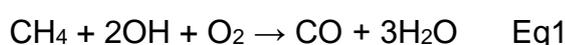
El metano es una sustancia extremadamente inflamable y al contacto con el aire resulta explosivo, llegando a producir incendios si existen focos de calentamiento⁵.

2.9 METANO ATMOSFÉRICO

Las emisiones de metano se agrupan en tres categorías: metano biogénico, producido por los microorganismos (metanógenos) a partir de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas (humedales, rumiantes y depósitos de desechos); metano termogénico, formado en los procesos geológicos a temperaturas elevadas (combustibles fósiles); y metano pirogénico, producido

por el proceso de combustión incompleta de la biomasa durante los incendios forestales y de los biocombustibles y combustibles fósiles³². Los estudios satelitales (GOSAT) han estimado una emisión global de 539Tg de metano por año, de los cuales 39% procede de los humedales, 22% de la ganadería, 12% de petróleo/gas, 12% del estiércol, 8% del arroz y 6% del carbón³³. En Argentina, máxime, con modelos estadísticos y ecuaciones matemáticas estimaron las emisiones de metano alcanzando 2.44 Tg/año³⁴.

El metano es removido de la atmósfera principalmente a través de dos procesos químicos: la oxidación por el radical hidroxilo (OH) y la oxidación por las bacterias metanótrofas. La principal forma de remoción del metano atmosférico es la oxidación por OH, sobre todo en la tropósfera, la misma que representa el 90% de la remoción global de metano³². El proceso incluye una serie de reacciones químicas, donde el metano es convertido en monóxido de carbono y agua (Eq1). El monóxido de carbono es también oxidado por OH en CO₂ y agua³⁵. La tasa de remoción de metano atmosférico es de 500Tg/año; el radical OH se forma por foto disociación del ozono troposférico (O₃) por la luz ultravioleta en presencia de vapor de agua³⁶. A diferencia del CO₂ cuya vida media es mayor a 100 años, la vida media de una molécula de CH₄ en la tropósfera es de solo 8-12 años; de modo que se puede disminuir las concentraciones en una o dos décadas, un tiempo crítico para frenar el calentamiento especialmente en las regiones más vulnerables del planeta, tales como los polos.



La otra forma de remoción está a cargo de los metanótrofos que son las únicas bacterias gram-negativas que pueden utilizar metano como fuente de carbono y

energía³⁷. La oxidación por estas bacterias ocurre en los suelos aireados, reacciona con el oxígeno y produce dióxido de carbono y agua (Eq2), siendo el suelo el mayor sumidero de metano atmosférico.



La concentración atmosférica de metano resulta de la diferencia entre la tasa de emisión y la tasa de remoción en el mismo período³².

2.10 METANO ENTÉRICO EN CAMÉLIDOS SUDAMERICANOS

La alimentación usual del ganado en altura se caracteriza por el consumo de forrajes enteros y maduros de alto contenido de fibra, generando altas emisiones de metano con efectos negativos en la productividad animal y la salud ambiental³⁸. Los estudios en lugares cercanos al nivel del mar mostraron que las alpacas alimentadas con forrajes producen más CH₄ que los ovinos, 7.0 vs 5.0% EB¹⁹ o 8.3 vs 11.6% EB³⁹. La mayor parte de estudios se realizaron en condiciones estándar de altitud y presión, cerca al nivel del mar; sin embargo, la altitud ejerce efecto sobre la presión atmosférica, por tanto, las emisiones de metano aumentan a mayor altitud⁴⁰.

La cantidad de metano emitido está íntimamente ligada a la cantidad de alimento ingerido y digerido. La digestión ruminal produce ácidos grasos volátiles, CO₂, H₂, amoníaco y calor. Los metanógenos reducen CO₂ a CH₄, utilizando H₂ como fuente de energía, como último paso de la fermentación entérica. La formación de CH₄ actúa como el sumidero más importante de electrones que drena el H₂ producido por los microorganismos ruminales⁴¹.

El metano entérico (CH_4) es generado por el tracto gastrointestinal de los animales y constituye la mayor fuente de CH_4 antropogénico¹. Es el gas digestivo más abundante que eliminan los animales herbívoros, como producto del trabajo bioquímico de un grupo de microorganismos del dominio Archaea que vive en el tracto digestivo anterior de los animales rumiantes y el tracto posterior de los herbívoros⁴². Como energía es una pérdida de la energía bruta consumida que está entre el 2 y el 12%,⁴³ y en términos ambientales contribuye al calentamiento y al cambio climático global; se constituye en uno de los mayores partícipes de las emisiones de gases de efecto invernadero en el mundo⁴⁴.

La emisión de metano significa un 30% de origen antropogénico y un 50% de origen agrícola. Las labores agrícolas y ganaderas aportan directamente a la emisión de gases de efecto invernadero, siendo la mayor parte causada por la ganadería que, después del sector energético, es la acción más comprometida⁴⁵. Los estudios en producción de metano entérico, en cámara de respiración, indican que la mayor producción en vaquillas ocurre entre 2 a 4 horas después del consumo de alimento, con un valor umbral de 20 L/h, seguido de un caída gradual hasta 8 L/h a las 12 horas. Esto debido a la alta tasa de fermentación y a la mayor presión parcial de H_2 ⁴⁶. El CH_4 corresponde a 6-7% de la energía bruta del alimento consumido, equivalente a una producción anual de CH_4 de 70-90 Kg para una vaca lactante⁴⁷.

En la Estación Experimental Agraria Illpa del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) de Puno, con 24 vacas lecheras, con consumo de materia seca, distribuidas en dos grupos de 12 vacas cada uno; en un cámara de respiración de 33.81 m³, con encierro de 10 minutos, midiendo los últimos tres minutos y usando el equipo Gasmeter DX 4030 encontraron que, la emisión de metano

entérico en vacas suplementadas fue menor que las vacas control (311.48 vs. 340.08) g/día por vaca y (725.12 vs. 791.70) L/CH₄/vaca. Con el concentrado fibroso se redujo el 8.4 % metano entérico por día. Concluyendo, que los concentrados fibrosos disminuyen las emisiones de CH₄ entérico en vacas⁴⁸.

En el Centro de Investigación y Producción Quimsachata, del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), 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 calcularon las emisiones de CH₄ en la mañana y en la noche, utilizando el equipo portátil Gasmeter DX-4030 Analyser. 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 (mañana y noche) en la producción de CH₄⁴⁹.

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 o con grandes cantidades de forraje (pastoreo), en tres ensayos sucesivos (1, 2 y 3): ensayo 1, heno de alfalfa alimentado en interiores; ensayo 2, pastoreada en pasto perenne de raigrás/trébol blanco (PRG/WC); y ensayo 3, con alimento de pasto trébol (*Lotus corniculatus*; Lotus), (utilizando la técnica de trazador de hexafluoruro de azufre) se determinó la producción de CH₄ (g/día). Las dietas seleccionadas por alpaca fueron de menor calidad que las seleccionadas por ovejas, y las ingestas voluntarias de energía bruta (GEI, MJ) 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 en heno de alfalfa, PRG/WC y Lotus, respectivamente). Alpaca y oveja no difirieron ($P>0.05$) en sus rendimientos de CH_4 (% GEI) cuando se alimentaron con heno de alfalfa (5.1 v. 4.7), pero la alpaca tuvo un mayor rendimiento de CH_4 cuando se alimentó con PRG/WC (9.4 v. 7.5, ($P<0.05$) y Lotus (6.4 v. 2.7, $P<0.001$). La alpaca tuvo mayor ($P<0.05$) digestibilidad neutral de la fibra detergente (0.478 v 0.461) y menor ($P<0.01$) pérdidas de energía urinaria (5.2 v. 5.8% GEI) que las ovejas. Se indica que las diferencias entre estas especies en FOR de partículas de heces podrían haber sido el mecanismo fisiológico subyacente responsable de las diferencias en la emisión de CH_4 , aunque las diferencias entre especies en VFI (ingesta voluntaria de alimento) y la calidad de la dieta también tuvieron un efecto sustancial en él¹⁹.

Con la técnica del trazador de hexafluoruro de azufre (SF_6) con tubos de permeación SF_6 frescos (tasa de permeación PR) en 24 ovejas alojadas en un patio cubierto y alimentadas con ensilado de alfalfa. Luego de 10 días de habituación en corrales, las ovejas se agruparon en 3 grupos de 8. Cada grupo se transfirió a cajones metabólicos individuales y se habituaron a los arneses de recolección de aliento durante 3 días antes de recolectar las muestras de aliento diariamente durante 6 días sucesivas para la estimación de emisiones de CH_4 usando la técnica SF_6 'Tracer'. Las muestras se analizaron para las relaciones de mezcla de CH_4 y SF_6 por cromatografía de gases (es decir, Tracer en la cámara). Las emisiones diarias de CH_4 para los procedimientos Tracer, Chamber y Tracer en cámara fueron 14.8 ± 2.4 , 13.9 ± 1 y 16.1 ± 2.8 g, respectivamente. En ovejas, la de emisión de CH_4 promedio con la técnica del trazador SF_6 coincidió con la obtenida en cámaras, pero la correlación entre controles fue pobre, posiblemente por desajuste en las rutas de excreción de trazas y gases traza⁵⁰.

En Australia, sabiendo que los camélidos comparten algunas características de su anatomía y fisiología digestivas con los rumiantes, y que producen cantidades iguales de metano por unidad de masa corporal, se realizó controles en la cámara de respiración con tres especies de camélidos (*Vicugna pacos*, *Lama glama*, *Camelus bactrianus*, n = 16 en total), todas mantenidas en una dieta de alimentos producidos solo con alfalfa. Los camélidos produjeron menos metano expresado en base a la masa corporal ($0.32 \pm 0.11 \text{ L kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$) en comparación con los datos de la literatura sobre rumiantes domésticos alimentados con dietas de forraje ($0.58 \pm 0.16 \text{ L kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$). Sin embargo, no hubo diferencias significativas entre los dos subórdenes cuando la emisión de metano se expresó en base a la ingesta de fibra detergente neutra digerible ($92.7 \pm 33.9 \text{ L kg}^{-1}$ en camélidos vs. $86.2 \pm 12.1 \text{ L kg}^{-1}$ en rumiantes). Esto implica que las vías de metanogénesis que forman parte de la digestión microbiana de la fibra en el intestino anterior son similares entre los grupos, y que la menor emisión de metano de los camélidos se puede explicar por su ingesta relativamente menor de alimentos. Por tanto, la emisión de metano de los camellos salvajes de Australia corresponde solo al 1 al 2% de la cantidad de metano emitida por los rumiantes domésticos de los países y que los cálculos de los presupuestos de los gases de invernadero de los países con grandes poblaciones de camélidos basadas en ecuaciones hechas para los rumiantes sobreestiman los niveles reales³⁹.

El gas metano se produce en el rumen por bacterias metanogénicas como producto metabólico final. La formación de metano actúa como un sumidero de electrones en el que drena el hidrógeno de todos los microorganismos ruminales, permitiendo un mayor rendimiento de trifosfato de adenosina. Factores como el tipo de carbohidratos en la dieta, el nivel de ingesta de alimento, la tasa de

tránsito de digesta, la presencia de ionoforos o lípidos en la dieta y la temperatura ambiente influyen en la emisión de metano. Los *Methanobrevibacter spp* parecen ser los principales metanógenos en el rumen, pero es probable que los análisis fitogenéticos identifiquen nuevas especies. La reducción bioquímica del dióxido de carbono al metano está bien definida, y se ha demostrado que la transferencia de hidrógeno interespecies entre metanógenos y bacterias ruminales previene la acumulación de nucleótidos reducidos y la inhibición de la digestión de la alimentación. El desarrollo de estrategias para mitigar la producción de metano en los rumiantes, sin causar un impacto negativo en la producción de rumiantes, continúa siendo un desafío importante para los nutricionistas y microbiólogos de rumiantes. La mejora de la reducción de dióxido de carbono a acetato y la manipulación genética directa de metanógenos son dos intervenciones que pueden reducir aún más las pérdidas de metano de los rumiantes⁵¹.

La emisión de metano en rumiantes alarma al mundo por su contribución al efecto de los gases de efecto invernadero y al calentamiento global. Algunos enfoques, como la vacunación, los biocontroles (bacteriófagos, bacteriocinas) y los inhibidores químicos, se dirigen directamente a los metanógenos. Otros enfoques, como la desfaunación, las manipulaciones de la dieta que incluyen diversos extractos de plantas o ácidos orgánicos, y la promoción de poblaciones acetogénicas, buscan reducir el suministro de hidrógeno metabólico a metanógenos. La ecología microbiana del ecosistema ruminal es extremadamente compleja y la capacidad de este sistema para convertir de manera eficiente carbohidratos complejos en azúcares fermentables se debe en parte a la eliminación efectiva de H₂ a través de la reducción de CO₂ a metano por metanógenos. Aunque la producción de metano puede ser inhibida por

períodos cortos, la ecología del sistema es tal que con frecuencia vuelve a los niveles iniciales de producción de metano a través de una variedad de mecanismos de adaptación. El flujo de hidrógeno en el rumen se puede modelar estequiométricamente, pero tomar en cuenta el H_2 mediante la medición directa de sustratos reducidos a menudo no concuerda con las predicciones de los modelos estequiométricos. Claramente, existen brechas sustanciales en nuestro conocimiento de las complejidades del flujo de hidrógeno dentro del ecosistema ruminal. La caracterización adicional de la bioquímica microbiana fundamental de la generación de hidrógeno y la producción de metano en el rumen puede proporcionar información para el desarrollo de estrategias efectivas para reducir las emisiones de metano de los rumiantes⁴¹.

El ganado rumiante puede producir de 250 a 500 L/ CH_4 /día; esta producción da como resultado estimaciones de la contribución del ganado al calentamiento global que puede ocurrir en los próximos 50 a 100 años en poco menos del 2%⁴³.

El metano producido por fermentación entérica representa la mitad de todas las emisiones antropogénicas de GEI en Uruguay, crianza basada en el pastoreo de forrajes durante todo el año. Se comparó la producción de leche y las emisiones de CH_4 de vacas lecheras que pastorean dos pastos mixtos contrastantes (ricos en leguminosas o ricos en pastos) usando la técnica del marcador SF_6 adaptada para recolectar muestras de aliento durante 5 días. No hubo diferencias en la producción de leche o CH_4 (producción de leche =20,3 kg/d ni en emisiones de CH_4 =368 g/d.) entre los prados comparados, quizás, debido a la gran cantidad de forraje que permitió el pastoreo selectivo de las vacas⁵².

En Estados Unidos de Norteamérica se realizó un inventario con las medidas de las emisiones de metano del ganado, usando un método de trazado interno. Los grupos estudiados fueron vacas, vaquillas de reemplazo, ganado de matanza, terneros y toros en el sector de la carne de vaca y vacas más novillas de reemplazo en la industria láctea. Dado que la emisión de metano depende de la calidad y la cantidad de alimento, se eligieron dietas que son representativas de los regímenes de alimentación utilizados por los productores de este país. La cantidad total de metano de las cinco regiones formó un inventario de las emisiones de ganado de los Estados Unidos para 1990, 1992, 1994, 1996 y 1998. Las emisiones anuales oscilaron entre 6,50 Tg en 1990 y un máximo de 6,98 Tg en 1996. El metano liberado por el ganado en los Estados Unidos aporta con cerca del 11% de la fuente mundial de ganado⁵³.

Se examinó el efecto del grano suplementario sobre la producción de metano (CH₄) en ocho novillos de carne (344.6±6.4 kg); 4 novillos alimentados con pasto leguminoso (C) y 4 animales alimentados con pasto leguminoso más un suplemento de cebada laminada (S). Se midió la producción de CH₄ durante dos períodos de 24 horas, utilizando la técnica de gas indicador SF₆ cuando los novillos ingresaron (IN) y salieron (OUT) de los potreros. Dos, 4 y 4 kg de grano de cebada enrollada se alimentaron diariamente a los novillos S durante los períodos temprano, mediano y tardío de la temporada de pastoreo, respectivamente. La suplementación redujo la ingesta de materia seca de forraje (DMI) en un 11% (P = 0.03) y aumentó la ingesta total de materia orgánica (TOMI) en un 14% (P = 0.001). La producción diaria de CH₄ fue similar para los novillos C y S (P > 0.05). La producción de metano aumentó (P < 0.05) de 256 L d⁻¹ en el período temprano, a 364 L d⁻¹ en el MID y 342 L d⁻¹ en el período tardío.

La energía perdida como CH₄, % de la ingesta total de energía bruta (TGEI) varió de 4.7 a 8.4% (promedio 6.5 ± 0.3%) durante la temporada de pastoreo, y no hubo diferencia entre novillos S (6.4 ± 0.6%) y novillos C (6.7 ± 0.6 %), (P = 0.71).

La producción de metano bajó con el pastoreo en forrajes de alta calidad; los novillos en pastos tempranos tenían un 44% y 29% menos de pérdida de energía (P<0.05) de CH₄ que los animales en pastos mediano y tardío, respectivamente.

Cuadro 1. Metano producido por fermentación entérica a nivel mundial-2006.

Región/País	Emisiones (millones de toneladas de CH ₄ por año fuente)					Total
	Ganado de leche	Otro ganado	Búfalos	Ovejas y cabras	Cerdos	
África subsahariana	2.30	7.47	0.00	1.82	0.02	11.61
Asia	0.84	3.83	2.40	0.88	0.07	8.02
India	1.70	3.94	5.25	0.91	0.01	11.82
China	0.49	5.12	1.25	1.51	0.49	0.05
América central y América del Sur	3.36	17.09	0.06	0.58	0.08	21.17
Asia occidental y África del norte	0.98	1.16	0.24	1.20	0.00	3.58
América del norte	1.02	3.85	0.00	0.06	0.11	5.05
Europa occidental	2.19	2.31	0.01	0.90	0.20	5.70
Oceanía y Japón	0.71	1.80	0.00	0.73	0.02	3.26
Europa Occidental y CEI	1.99	2.96	0.02	0.59	0.10	5.66
Otros países desarrollados	0.11	0.62	0.00	0.18	0.00	0.91
TOTAL	15.69	50.16	9.23	9.44	1.11	05.43
Pastoreo	4.73	21.89	0.00	2.95	0.00	29.58
Mixto	10.96	27.53	9.23	6.50	0.80	55.02
Industrial	0.00	0.73	0.00	0.00	0.30	1.04

Fuente: FAO⁵⁷.

En síntesis, los efectos de la suplementación en la producción de CH₄ fueron marginales en novillos de pastoreo. El estudio sugiere que la calidad de los pastos juega un papel importante en la medida en que la producción de CH₄ y se puede reducir con la suplementación de granos en animales en pastoreo⁵⁴. El

90% del metano producido en el tracto posterior es absorbido y espirado a través de los pulmones, mientras que el 10% restante se excreta a través del recto⁵⁵; en vacas la pérdida rectal del metano es 7%⁵⁶ y 1% en ovinos⁵⁵.

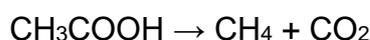
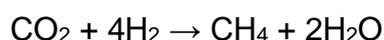
2.11 METANÓGENOS DEL RUMEN: ARCHAEAS

La metanogénesis es la emisión de metano fruto del metabolismo anaerobio microbiano y paso final de la desintegración de la biomasa. Los metanógenos del dominio Archaea, son un grupo filogenético distinto a los eukariotas y bacterias, a pesar de vivir en estrecha asociación con bacterias anaeróbicas⁴².

La metanogénesis es afectada por factores como el pH, la concentración de AGVs en el rumen, el tipo de dieta, la forma de alimentación del animal, la especie animal o el estrés ambiental⁴². El pH ruminal es uno de los principales factores que afecta la conformación de la población microbiana y los niveles de ácidos grasos hechos en el rumen. En el rumen hay dos grupos grandes de bacterias que actúan a varios pH. El de bacterias digestoras de fibra, las cuales son más activas a pH de 6,2 a 6,8. Las bacterias celulolíticas y metanogénicas se ven mínimas cuando el pH inicia a caer por debajo de 6. Por su parte, el grupo de las digestores de almidón optan un ambiente más ácido a pH de 5,2 a 6⁵⁸.

La mayoría de metanógenos son del dominio Archaea, (Archaeobacteria=arqueas) phylum Euryarchaeota, formado por las clases Methanobacteria, Methanomicrobia, Thermoplasmata y Methanopyri (70.3, 16.4, 7.4 y 0.03%, respectivamente). En la clase Methanobacteria, familia Methanobacteriaceae prevalecen 3 géneros: Methanobrevibacter, Methanomicrobium y Methanosphaera (50, 15 y 13% del total de archaeas

respectivamente), por su crecimiento relativamente rápido y su competitividad en el uso del H₂ y CO₂⁵⁹. Estas son las únicas arqueas conocidas en el rumen y son causa de la producción de metano⁶⁰. Las Archaeas de los órdenes Methanobacteriales y Methanomicrobiales se han hallado asociadas con protozoos de los géneros Entodinium, Polyplastron, Epidinium, y Ophryoscolex⁶¹. Además, se han observado interacciones de diversas especies de metanógenos con hongos anaerobios, como *Neocallimastix frontalis*⁶². Los estudios genómicos, reportan un nuevo phylum de metanógenos, la Bathyarchaeota⁶³. Los metanógenos más comunes pertenecen al género Methanobrevibacter, un grupo anaerobio estricto, capaz de crecer utilizando H₂ (o formato) como fuente de energía y electrones que derivan del H₂ (o formato) para reducir CO₂ a CH₄⁶⁴. El *Methanobrevibacter millerae* es la especie dominante en el estómago de la alpaca⁶⁵. Las archaeas no usan oxígeno para respirar (el oxígeno priva su desarrollo), sino carbono como aceptor final de electrones. El carbono deriva de un pequeño número de compuestos orgánicos, todos con bajo peso molecular. Fisiológicamente, hay tres rutas de metanogénesis: (i) la ruta hidrogenotrófica que usa hidrógeno (H₂) para reducir dióxido de carbono (CO₂), (ii) la ruta metilotrófica que usa compuestos metilados como el metanol y aminas metiladas, y (iii) a partir de la ruptura del acetato (ruta acetoclástica)⁶⁶. Las dos rutas más conocidas implican el uso de CO₂ y ácido acético⁴²:



Sin embargo, la metanogénesis también puede utilizar carbono de otros compuestos orgánicos pequeños, tales como ácido fórmico (formato), metanol,

metilaminas, dimetilsulfuro y metanotiol, dependiendo del pH y la temperatura. Las arqueas metanógenas son beneficiarias directos del hidrógeno (H_2) que genera la fermentación de los alimentos por los otros microbios del rumen. La mayoría de especies de metanógenos puede crecer utilizando H_2 y a menudo formato como sus fuentes de energía. Su metabolismo les permite obtener energía por reducción de dióxido de carbono (CO_2) con los electrones que derivan de la oxidación de H_2 , (o formato) produciendo metano⁶⁴. Por consiguiente, la metanogénesis disminuye la cantidad de H_2 en el rumen y constituye la principal ruta de remoción de H_2 en el rumen. La metanogénesis se puede minimizar disminuyendo la producción de H_2 (reduciendo el número de productores de H_2 tales como los protozoarios y algunos microorganismos fibrolíticos), inhibiendo la formación de CH_4 y/o reorientando el H_2 hacia la producción de propionato (ampliando el número y la actividad de los no-metanógenos tales como los utilizadores de H_2)⁶⁷.

2.12 PATRÓN DIURNO DE EMISIONES DE METANO ENTÉRICO

El patrón diurno de las emisiones de metano entérico varía de acuerdo a la cantidad de alimento ingerido y al patrón de alimentación del animal⁶⁷. Las mediciones en cámara de respiración en vacas lecheras alimentadas con forraje y concentrado han mostrado que las emisiones de metano están en estrecha relación con el consumo de materia seca. Los animales consumen en 1 a 2 horas el alimento ofrecido y la tasa de emisión incrementa después de la alimentación, alcanzando un máximo en 1 a 2 horas, tanto en la mañana como en la tarde, luego declina en forma gradual hasta un valor basal antes de la siguiente alimentación⁶⁸. El valor más alto se observa en las horas siguientes a la alimentación (30g/h) y el valor más bajo antes del ordeño de la mañana siguiente

(19g/h)⁶⁹. Un 90% del metano emitido por los rumiantes se produce en el rumen y se exhala por la boca y la nariz⁷⁰. El pH más bajo se registra 1 hora después de la alimentación⁷¹.

2.13 FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCCIÓN DE METANO

a) Factor dieta. La producción de metano depende de la cantidad y calidad del alimento consumido por el animal, el tipo de carbohidratos en la dieta, el grado de procesamiento del alimento, la adición de lípidos o ionóforos a la dieta y las alteraciones en la microflora ruminal. El manejo de estos factores puede reducir las emisiones de metano del ganado. Los dos principales factores implicados de la variación en la producción de metano son la cantidad de carbohidratos fermentados en el rumen, lo cual implica diversas interacciones dieta-animal, que afectan el balance entre las tasas de fermentación de estos carbohidratos y la tasa de pasaje⁴³.

La calidad del forraje tiene un impacto directo sobre las emisiones de metano entérico, así se ha comprobado tanto en modelos *in vitro* como en modelos *in vivo* (53). Las dietas altas en granos (más de 90% de concentrado), en niveles próximo al consumo *ad libitum* pueden reducir las pérdidas de metano en 2-3%⁴³. Cuando se aumenta el consumo, la producción total de metano aumenta, pero la cantidad de energía perdida como metano por unidad de alimento consumido disminuye en 12-30%⁷². Los rumiantes que consumen dietas ricas en almidón producen mayor cantidad de propionato, menor relación de acetato y propionato, y menor emisión de metano. Las altas tasas de fermentación de dietas ricas en almidón, pueden inhibir las bacterias metanogénicas y ciliados del rumen y aumentar la producción de propionato⁷³.

b) Factor ambiente. Dada por altitud, latitud, temperatura y fotoperiodo. Las pasturas tropicales por lo general son de regular a baja calidad debido a su alto contenido de lignocelulosa poco digestible y a su pobreza en otros nutrientes, principalmente glúcidos solubles y proteína⁷⁴. Las emisiones de metano por unidad de materia seca digerida es mayor para los rumiantes alimentados con pastos subtropicales que con pastos de climas templados, lo cual se atribuye al mayor contenido de lignocelulosa de los pastos subtropicales⁷⁵.

Las emisiones de metano entérico varían de acuerdo al tipo de pastura y la temporada de pastoreo. Las emisiones están influidas por la calidad y la disponibilidad de materia seca, de manera que las emisiones son más altas cuando la calidad de los pastos y su disponibilidad son bajas. Entonces, las emisiones de metano entérico son más altas cuando los animales son sometidos a forrajes de baja calidad y con limitadas oportunidades para la selección, es decir, forraje escaso y de pobre calidad⁷⁶.

c) Factor producción. Algunos autores indican que el sistema de producción y la raza animal juegan un papel importante en las emisiones de metano entérico⁷⁷.

d) Factor fisiológico. La degradación ruminal de un forraje o una dieta depende no solo de sus características químicas y físicas sino también del tiempo de retención (tasa de pasaje). A menor digestibilidad o la mayor retención ruminal incrementa la producción de metano por unidad digerida; y de manera inversa, la mayor tasa de pasaje ruminal disminuye la producción de metano⁵¹.

Otro factor que afecta la producción de metano es la relación de ácidos grasos volátiles (AGV) producidos, lo cual regula la producción de H₂ y la producción de metano. Si la relación ácido acético: ácido propiónico fuera 0.5, la pérdida

energética puede ser de 0%; pero si todos los glúcidos fuesen fermentados a ácido acético y no se produjera propiónico, las pérdidas energéticas podrían llegar a 33%. La relación ácido acético: ácido propiónico puede variar entre 0.9 a 4, por lo tanto las pérdidas por metano varían ampliamente⁵¹.

e) Factor genético. Éstos incluyen la adopción de estrategias de selección animal y mejoramiento genético, de manejo reproductivo y el uso de promotores del crecimiento para mejorar la productividad⁵¹. La selección genética de animales que consumen menos alimento o producen menos metano por unidad de alimento es otra estrategia de manejo que se puede emplear para reducir las emisiones de metano entérico⁷⁸. Una enorme variación entre los animales de pastoreo ha sido observada también por otros autores quienes estiman que la variación de animal-animal representa del 70% al 85% de la variación en la producción diaria de metano⁷⁵.

2.14 DIGESTIBILIDAD DE PASTOS EN CAMÉLIDOS SUDAMERICANOS

La digestión es la transformación de los alimentos en el aparato digestivo, en sustancias asimilables por el organismo; entonces, la digestibilidad es la absorción de los nutrientes del alimento en el tracto digestivo, y que no aparece en la materia fecal de los animales; estos provienen de dos fuentes: de las dietas y los propios de los animales (fluidos digestivos y células descamadas); en tanto, la digestibilidad in vivo en camélidos, son atribuidos al hábito de selectividad, encontrándose mayores coeficientes de digestión en llamas⁷⁹.

El tiempo de retención de la digesta es mayor en alpacas que en llamas, pero, la digestibilidad de la materia seca por unidad de peso corporal metabólico es

mayor en llamas que en alpacas, lo cual indica que las llamas pueden afrontar mejor las dietas de baja calidad que las alpacas⁸⁰.

La alpaca necesita una cantidad similar de alimento que el ovino, pero, es 37% más eficiente en la extracción de energía y proteína del alimento de baja calidad, debido a un menor tiempo de pasaje (63 h vs 41 h) por el canal entérico, que es 50% más largo que el del ovino y el doble que del vacuno⁸¹.

La digestibilidad de forrajes en llamas, alpacas, caprinos y ovinos, muestra resultados contradictorios. En algunos casos los camélidos digieren mejor que ovinos los forrajes de alta fibra/bajo nitrógeno⁸², en otros casos²², con similar eficiencia de los forrajes de baja fibra/alto nitrógeno⁸². A fin de aclarar esta controversia, han contrastado la habilidad de los camélidos (alpacas y llamas) y cabras, entre otros, para digerir henos de gramíneas c3 (*Bromus inermis*) y c4 (*Cynodon dactylon*) con similares niveles de nitrógeno y paredes celulares. La digestibilidad de la materia seca de heno c3 fue similar entre camélidos y caprinos; en cambio, los camélidos tuvieron mayor eficiencia que las cabras en la digestión de materia seca de heno c4, debido posiblemente a un mayor tiempo de retención del alimento (71 v 54 h, respectivamente). Este resultado resta soporte a la hipótesis de que los camélidos tengan mayor eficiencia digestiva que los otros animales rumiantes⁸⁰.

Cuando la digestibilidad se expresó en relación al peso metabólico, las cabras mostraron mayor eficiencia digestiva que las alpacas. En otro ensayo comparativo de patrones de alimentación con forrajes ha mostrado que las cabras consumen y retienen más MS y N que las llamas más grandes, lo cual demuestra que las cabras tiene mayor eficiencia digestiva que las llamas⁸³.

2.15 CONSUMO DE MATERIA SECA EN CAMÉLIDOS SUDAMERICANOS

El consumo de materia seca en alpacas varía de 1.08 a 2.40% del peso vivo, en promedio 1.83%; es afín al de la llama en el consumo ajustado al peso corporal metabólico, y 20% menor que la capacidad de consumo del ovino²²; también depende de la composición, disponibilidad y digestibilidad del forraje⁸⁴ así como del contenido de proteína, y fibra detergente neutra²².

El consumo de materia seca en pastoreo, estimado a través de cánulas esofágicas de alpacas al pastoreo de *Festuca dolichophylla*/*Muhlenbergia fastigiata*, en La Raya, Perú, varía entre las estaciones del año. En la estación seca (octubre), el consumo fue $60.5 \text{ g/W}_{\text{kg}}^{0.75}$, mientras que en la estación húmeda (febrero) fue $53.7 \text{ g/W}_{\text{kg}}^{0.75}$ (por peso metabólico)⁸⁵. Varias investigaciones realizadas en Perú, Bolivia y Chile indican que el consumo de alimento en kg de materia seca por día es 2% en alpacas, expresando en relación al peso metabólico sería entre 35 a 38 gramos de materia seca por kg ($P^{0.75}$) y 1.8 % de peso vivo en llamas, expresado en relación al peso metabólico de los camélidos sería entre 35 a 38 gramos de materia seca por kg ($P^{0.75}$); el consumo de heno de alfalfa en época seca debe alcanzar los 672.7g de MS/día, representando el 1.8% de su peso vivo; en praderas de *Festuca dolichophylla* y *Stipa ichu* el consumo de MS debe llegar a 224.2 g y 198.5 g respectivamente, representando los 0.39% y 0.34% de peso vivo de los animales⁷⁹.

2.16 MEDICIÓN DE EMISIONES DE METANO ENTÉRICO

Los estudios en medición de emisiones de metano entérico se han realizado indistintamente tales como fermentación ruminal, balance de energía, evaluación de aditivos y más recientemente, para caracterizar y reducir la

contribución de los rumiantes a la carga global de CH_4 . Las emisiones de CH_4 entérico se han medido usando técnicas de calorimetría de respiración tales como las cámaras de cuerpo entero, cajas de cabeza y cámaras y máscaras ventiladas. Existen muchas técnicas para medir las emisiones de metano de animales o grupos de animales. Las técnicas de encierro son precisas pero requieren animales entrenados y pueden limitar el movimiento de los animales. Las técnicas trazadoras isotópicas y no isotópicas también pueden usarse de manera efectiva. Las ecuaciones de predicción basadas en el balance de fermentación o las características de alimentación se han utilizado para estimar la producción de metano. Estas ecuaciones son útiles, pero las suposiciones y condiciones que deben cumplirse para cada ecuación limitan su capacidad para predecir con precisión la producción de metano. La producción de metano de grupos de animales se puede medir mediante el balance de masa, métodos micrometeorológicos o trazadores. Estas técnicas pueden medir las emisiones de metano de animales en recintos interiores o exteriores⁴³. La elección de la técnica dependerá de la precisión, ventajas y desventajas de cada uno⁸⁶.

La cámara de respiración de circuito abierto (técnica de encierro) es el estándar de oro para las mediciones de metano en rumiantes⁸⁷ (Fig. 1).

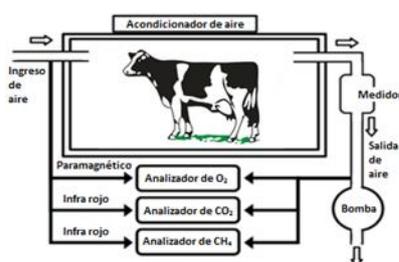


Figura 1. Cámara de respiración de circuito abierto.

El principio de la cámara es la colección y el análisis del aire excretado por el animal (boca, nariz y recto). Una bomba de aire extrae el aire de la cámara a través de un medidor de flujo y los medidores de gases. La cámara está equipada con ventiladores internos para una mezcla eficiente de los gases espirados y el aire entrante. La entrada de aire se encuentra en la parte anterior y la salida en la parte posterior. El aire fresco ingresa a la cámara directamente del exterior o a partir de un sistema de aire acondicionado con humedad y temperatura controlada. La cámara está conectada a un sistema de análisis de gases que permite la medición continua de O_2 , CO_2 y CH_4 ⁸⁷. La medición en cámara de respiración tiene ventaja por incluir la emisión de gases del tracto posterior que representa 5% de la producción total de metano entérico en ovinos⁵⁵, o el 3% del total de las emisiones de metano de boca, nariz y recto en vacas lecheras⁸⁸.

El trazador hexafluoruro de azufre (SF_6) es la técnica para las mediciones directas de las emisiones de metano entérico del ganado en su ambiente natural, de uso en vacunos⁸⁹, ovinos⁹⁰, vacunos de carne y leche⁵⁴, alpacas¹⁹ y ciervos⁹¹. La técnica del SF_6 subestima en 8% las emisiones de metano entérico con relación a la cámara de respiración, por excluir las emisiones del tracto posterior⁵⁶. Se modificó con dispositivos de colección sobre el dorso del animal⁹²; pero, es criticado por su carácter invasivo y sobre todo porque SF_6 es el gas de efecto invernadero más poderoso y eficaz para atrapar la radiación infrarroja, con un potencial de calentamiento global de 22.8 mil veces mayor al de dióxido de carbono en un horizonte de 100 años³⁴, con un tiempo de vida en la atmósfera muy largo (800-3200 años) y un depósito irreversible una vez emitido⁹³.

La espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), dada sus características, es una técnica simple, limpia y no invasiva que sustituye a la

sofisticada cámara de respiración de aire controlado, debido a que utiliza solo principios físicos que posibilita analizar con relativa facilidad y rapidez el contenido de los contaminantes del aire. La técnica ha sido evaluada por varios investigadores, siendo una nueva herramienta útil para las mediciones de las emisiones de metano entérico y otros gases en los animales rumiantes^{94,95,96,97}. El principio básico de la espectroscopia FTIR en la detección y medición de los contaminantes del aire es que cada gas tiene su propia "huella digital" o espectro de absorción. Todo el espectro infrarrojo será monitoreado y el sensor FTIR leerá la diferente huella digital de los gases presentes en la muestra de aire analizada⁸⁷. A partir de los datos obtenidos mediante estas técnicas se han derivado las ecuaciones predictivas utilizadas para generar modelos matemáticos usados para los inventarios nacionales y mundiales⁹⁸.

La medición de las emisiones de metano in vivo necesita animales en pastoreo lo que es bastante difícil y extremadamente costoso, ya que requiere el uso de equipo y materiales altamente especializados⁹⁹. Los métodos in vitro no solo tienen la ventaja de ser más económicos y requerir menos tiempo, si no que permiten controlar con mayor precisión las condiciones experimentales¹⁰⁰.

2.17 CALENTAMIENTO GLOBAL

El calentamiento global, es el resultado de los altos contaminantes, que se dieron desde hace muchos años atrás, la industrialización a causa de diferentes gases tóxicos los cuales eran enviados a la atmosfera siendo esto un problema en la actualidad. De tal manera es importante tomar en cuenta este tema, ya que su impacto ante el medio social es muy claro, dejando grandes

consecuencias tanto a los seres vivos como al planeta mismo, a causa de sus grandes fenómenos provocado por sus elevadas temperaturas¹⁰¹.

Entre los efectos del calentamiento global se pueden citar al incremento de la temperatura, lluvias más torrenciales y más frecuentes, el estrés hídrico, las sequías, las desglaciaciones y la degradación de la biodiversidad. Como consecuencia de la subida de la temperatura, las frecuencias de las lluvias son mayores y más destructivas. La desglaciación ya es un hecho (un ejemplo es el nevado de Huaytapallana). Además, el ciclo hídrico se está alterando porque ahora las épocas de sequía son más largas que las de lluvia. De igual manera, ya se tienen evidencias de que en plena sequía pueden caer aguaceros inesperados (que malogran los productos agrícolas) o que se pueden producir sequías cortas en plena época de lluvias (con consecuencias dañinas)¹⁰².

2.18 CAMBIO CLIMÁTICO

A lo largo de la historia la tierra ha experimentado cambios en los parámetros climáticos de temperatura, humedad, presión, vientos, precipitaciones, nubosidad, entre otros. Inicialmente, a esos cambios que dependen fundamentalmente de la naturaleza se les llamaba variabilidad natural del clima, pero desde hace varios años en éstos ha incidido la acción del hombre, por lo que se ha usado también la expresión cambio climático antropogénico. El cambio del clima mundial está afectando el funcionamiento de muchos ecosistemas y de las especies que los integran, incluida la humana, con pocos efectos beneficiosos; sin embargo, se consideran que la mayoría de las repercusiones del cambio climático en la salud son esencialmente adversas. Estos cambios en los sistemas humanos y naturales se prevén graves, de largo

alcance y capaces de afectar excesivamente a los sectores poblacionales más vulnerables física y económicamente. Las modificaciones generales pueden ser clasificadas en: directas como es, el incremento esperado en la mortalidad y morbilidad (predominantemente por enfermedades cardiorrespiratorias)¹⁰³, por la mayor intensidad prevista y la duración de las olas de calor y por la contaminación del aire; e indirectas que son las predominantes. Abarcan desde el incremento de la transmisión de enfermedades infecciosas por vectores o no, como resultado de ampliaciones de los límites geográficos y de la estacionalidad para los organismos vectores, sobre todo en las regiones tropicales, subtropicales y de zonas templadas menos protegidas; hasta las afectaciones en la producción de alimentos y el suministro de agua potable¹⁰⁴.

El cambio climático, también, influye en los determinantes sociales y medio ambientales de la salud, como es un aire limpio, agua potable, alimentos suficientes y una vivienda segura. Según 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 estima que el coste de los daños directos para la salud (es decir, excluyendo los costes en los sectores determinantes para la salud, como la agricultura, el agua y el saneamiento) se sitúa entre 2000 y 4000 millones de dólares (US\$) de aquí a 2030. Las zonas con malas infraestructuras sanitarias -que se hallan en su mayoría en los países en desarrollo- serán las menos capacitadas para prepararse ante esos cambios y responder a ellos si no reciben ayuda¹⁰⁵.

El Perú, a pesar de su desarrollo económico, aún pasa por un periodo de transición de factores de riesgo ambientales, ya que coexisten riesgos tradicionales y modernos, donde persisten los problemas infecciosos asociados

con problemas crónicos, algunos de los cuales se asocian a problemas de contaminación de agua y del aire. Por otro lado, el país está sometido a la variabilidad climática producto del fenómeno de El Niño estando en la actualidad inmerso en mayores frecuencias y severidad de su presentación, y por la probable extensión del área afectada por vectores de enfermedades infecciosas. Los datos existentes aluden una posibilidad de asociación entre El Niño y el cambio climático, pero necesita más investigación para comprobar. El fenómeno de El Niño se manifiesta con lluvias intensas en la zona desértica de la costa norte con graves sequías en la región sur, particularmente altoandina, elevación de la temperatura del mar y disminución de la temperatura en la selva¹⁰⁶.

2.19 EFECTOS DEL METANO SOBRE LA SALUD PÚBLICA

Cualquier persona no está expuesto normalmente a las emisiones de metano hasta el punto de que su inhalación los perjudique. La inhalación amplia de metano puede provocar asfixia al reducir el contenido de oxígeno en el aire, dando lugar a la pérdida de conocimiento e incluso la muerte^{5, 107}. El CH₄ es el segundo gas que más aporta al calentamiento global terráqueo (efecto invernadero) con un 15 %, sólo superado por el CO₂ con un 76%¹⁰⁷.

Además, la salud de las personas está empezando a recibir numerosos efectos nocivos originados por la variación climática y que en las próximas décadas estos problemas se agravarán. Existe un alto riesgo en: a) Poblaciones que viven en los bordes de las áreas de alta endemicidad de enfermedades sensibles a los cambios del clima, como la malaria o el dengue, b) Regiones en las que se hayan observado brotes epidémicos en relación con fenómenos climáticos extremos como el fenómeno del Niño, c) Áreas con deficientes infraestructuras sanitarias,

con problemas medioambientales sobreañadidos o con subdesarrollo económico, y d) Regiones muy sensibles a fenómenos climáticos que afecten directamente a la salud. Amplias regiones de África, de Latinoamérica y de Asia, desembocaduras de ríos ampliamente pobladas, numerosas islas o diversas regiones áridas podrían verse muy afectadas¹⁰⁸.

El Perú se hallaría entre los diez países más vulnerables ante la variación climática, que se asocian previamente con: a) el retroceso glaciar, b) el aumento de la frecuencia e intensidad del Fenómeno del Niño y c) la elevación del nivel del mar. En cuanto al primer efecto, según CONAM¹⁰⁹ en los últimos 22 a 35 años se ha perdido el 22% de la superficie glaciar, lo que equivale a 10 años de consumo de agua en Lima. Asimismo, se proyecta que para el 2025 desaparecerán los glaciares peruanos con una elevación menor a los 5,500 metros sobre el nivel del mar. Este hecho tendría consecuencias negativas sobre la disponibilidad del agua considerando que la mayor parte de los ríos de la vertiente occidental de nuestros Andes se abastecen del escurrimiento por infiltración de las zonas altas o por la fusión del hielo de los glaciares durante el período de estiaje, entre mayo y noviembre. Un continuo proceso de desglaciación generaría, inicialmente, una mayor circulación del agua en los cauces alcanzando un máximo de disponibilidad durante los siguientes 25 a 50 años; luego del cual, se iniciaría una progresiva disminución, agudizando el período de estiaje y en consecuencia, reduciendo la disponibilidad de agua para consumo humano, procesos industriales y generación de energía por fuente hidroeléctrica. Por otro lado, el cambio climático produciría un calentamiento de la capa superior del océano, lo que podría afectar la frecuencia e intensidad del Fenómeno del Niño¹¹⁰.

La Organización Mundial de la Salud, en 2002, estimó que la alteración climática fue causa en el año 2000 de aproximadamente el 2,4% de los casos de diarrea en todo el mundo y del 6% de los casos de paludismo en algunos países de ingresos medios. Sin embargo, el intenso "ruido de fondo" debido a los cambios experimentados por otros factores causales dificulta la identificación de los cambios pequeños; una vez detectados, la atribución causal se afianza si se efectúan observaciones similares en poblaciones diferentes. Es probable que los primeros cambios detectables en la salud humana consistan en modificaciones de los límites geográficos (latitud y altitud) y la estacionalidad de ciertas enfermedades infecciosas, en particular de las transmitidas por vectores (como la malaria y el dengue) y por alimentos (por ejemplo la salmonelosis), cuya frecuencia es máxima en los meses más cálidos¹¹¹.

Una de las peores crisis en la actualidad es la contaminación ambiental, el cambio climático y el calentamiento global por el que está atravesando la humanidad y el planeta Tierra. Esta situación está afectando, 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 se están viendo alterados por estas situaciones. Al respecto hay un sinnúmero de evidencias objetivas y subjetivas que día a día se hacen más notorias y catastróficas: sequías, inundaciones, incendios, epidemias y migraciones atípicas en tiempo y lugar son tan solo algunas de estas consecuencias que estamos teniendo y si no hacemos rápidamente algo contundente, las futuras generaciones están en riesgo al igual que su sostenibilidad⁴.

Durante los últimos 50 años, la actividad humana, en particular el consumo de combustibles fósiles, ha liberado cantidades de CO₂ y de otros gases de efecto

invernadero suficientes para retener más calor en las capas inferiores de la atmósfera y alterar el clima mundial. En los últimos 130 años el mundo se ha calentado aproximadamente 0,85 °C. Durante los últimos 30 años cada década ha sido más cálida que cualquier década precedente desde 1850. El nivel del mar está aumentando, los glaciares se están fundiendo y los regímenes de lluvias están cambiando. Los fenómenos meteorológicos extremos son cada vez más intensos y frecuentes. Aunque el calentamiento mundial puede tener algunos efectos beneficiosos localizados, como una menor mortalidad en invierno en las regiones templadas y un aumento de la producción de alimentos en determinadas zonas, los efectos globales para la salud del cambio climático serán probablemente muy negativos. En conclusión, el cambio climático influye en los determinantes sociales y medioambientales de la salud, a saber, un aire limpio, agua potable, alimentos suficientes y una vivienda segura¹¹².

2.20 ALGUNAS DOLENCIAS CAUSADAS POR ASPIRACIÓN DE METANO

Las enfermedades causadas por metano provienen de la inhalación aguda y crónica. Los síntomas más comunes incluyen mareos, dolor de cabeza, náuseas, somnolencia y pérdida del conocimiento. La intoxicación por gas metano puede llevar a una intoxicación por sulfuro de hidrógeno, la asfixia, y la explosión e incendio. Así actúa el gas metano en el organismo: una vez inhalado, el gas 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 O₂ y CO₂, de los pulmones pasa a sangre, de sangre al cerebro, del cerebro al sistema nervioso central y del sistema nervioso central, al corazón; provocando, principalmente, las siguientes

enfermedades: dermatosis, dermatosis palpebral de contacto, eczema palpebral, conjuntivitis, queratoconjuntivitis, prurito, enfermedades cardiovasculares, estornudos, asma, neumonía o pulmonía, sinusitis, laringitis, bronquitis, enfisema pulmonar y estrés^{5, 107}.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Lugar de estudio

El estudio se realizó en el Centro de Investigación y Producción (CIP) La Raya - Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia 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. El clima fue variado, con una temperatura promedio de 10.0°C, con una mínima promedio de 1.1°C y una máxima promedio de 18.0°C., y con un promedio de humedad relativa de 54%. Los análisis químicos se realizó 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, ubicado a una altitud de 3825 m., en las coordenadas de 15°49'34" latitud Sur y 70°00'43.5" longitud Oeste del Meridiano de Greenwich¹¹³.

3.2 Instalaciones

La instalación básica estuvo conformada por una cámara de respiración de circuito cerrado de 2 m (ancho) x 2.0 m (altura) x 2.5 m (longitud), construido con material policarbonato totalmente sellada¹¹⁴.

3.3 Animales

Para realizar el estudio 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:

Cuadro 2. 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

Fuente: Elaborado en base al estudio.

3.4 Alimentación de alpacas y llamas al pastoreo

La alimentación de las alpacas y llamas al pastoreo fue a base de pastos naturales de la asociación (Fedo-Cavi) del CIP La Raya², durante todo el día (8-16h), adecuado al sistema de alimentación del CIP La Raya.

3.5 Materiales y equipos para el estudio en alpacas y llamas al pastoreo

3.5.1 Materiales

Para el estudio se utilizó materiales para la fase de campo y laboratorio tales como:

- Material de escritorio, libreta de campo, cuaderno de apuntes.
- Silicona y cinta de embalaje para sellar la cámara de respiración.
- Cánula esofágica.
- Bolsas colectoras.
- Sogas, soguillas.
- Cámara fotográfica.
- Tablero de vidrio (cuadrante) de 50cm²
- Materiales y reactivos de laboratorio (proveído por el Lb. de nutrición y alimentación animal).

3.5.2 Equipos

- Balanza electrónica analítica de precisión con capacidad de 200/0.0001 g para pesar muestras de heces y dieta del animal.
- Balanza electrónica digital con plataforma con capacidad de 500/0.1 kg para pesar animales.
- Estufa para desecar las muestras.
- Ablandador de agua (para obtener agua des ionizada).
- Mufla.
- Digestor de fibra.
- Estereoscopio Leica S8 APO.
- Analizador de gases¹¹⁵ (Gasmeter DX-3040).

3.6 Procedimiento para medir metano en alpacas y llamas al pastoreo

La emisión de metano se registró con el analizador de gases Gasmeter DX-4030, con el sistema bluetooth (PDA), en una cámara de acumulación de gases de 9.78 m³. Los datos primarios 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.

3.6.1 Etapa pre-experimental

Canulación esofágica en alpacas y llamas

El alimento consumido se recolectó por cánulas esofágicas puestas quirúrgicamente en alpacas y llamas y en ambos sexos¹¹⁶:

- Se arregló un lugar y una mesa para la intervención quirúrgica.
- Se colocó de decúbito lateral derecho en la mesa de operación.
- Un día antes se rasuró un área de 20x10 cm de la región lateral izquierda media del cuello; se desinfectó con alcohol yodado para intervenir.
- Se administró local y subcutánea el anestésico por infiltración en forma de "L" (lidocaína al 2%) en dosis suficiente hasta la pérdida reversible de sensibilidad de la región (15-25 ml).
- Una vez perdida la sensibilidad (10 a 15 minutos), se realizó la incisión de la piel hasta localizar el esófago, teniendo cuidado para no lesionar la vena yugular, arteria carótida y nervio vago.
- Para ubicar fácilmente el esófago se introdujo una sonda por la boca hasta exponer el esófago e incidir longitudinalmente de tal manera que permita introducir la cánula tipo canaleta PVC.

- La cánula tipo canaleta se colocó dentro de la luz del esófago asegurando el tapón con hilo de cáñamo en el cuello del animal para evitar que se extravíe. Las curaciones del pos operatorio se efectuó en forma diaria administrándoles antibióticos, analgésicos, antipiréticos, antiinflamatorios y desinfecciones locales con violeta de genciana.
- En la recuperación de los animales se alimentaron en un corral con pastos cultivados de *Lolium multiflorum* (Rye grass) y *Trifolium repens* (trébol blanco) verdes, para evitar obstrucción esofágica con la ingesta; y se aprovechó un riachuelo con agua fresca.
- El animal se recuperó en cerca de un mes, luego se inició con el acostumbramiento.

Periodo de acostumbramiento

Esta fase duró 3 días para no producir estrés ni inconvenientes a la hora de realizar la etapa experimental, con el siguiente proceso:

- Ingreso a la cámara de acumulación de gases.
- Colocación de arnés y bolsas de colección de heces.
- Colocación y colección de bolsas de ingesta en animales fistulados^{116,117}.

3.6.2 Etapa experimental

Procedimiento para la colección de heces

Para colectar las heces frescas, una noche antes se les colocó los arneses y bolsas colectoras de lona a cada uno¹¹⁸, 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. Las heces fueron pesadas, mezcladas y muestreadas (50 g) por animal, secadas al medio

ambiente, embolsadas en papel y rotuladas. Para las hembras la colección se hizo diferente, para impedir que las heces se contaminen con la orina; se diseñó un desvío de la orina con alambrado y tubo de PBC que conectaba a la bolsa de colección.

Procedimiento para la colección de la ingesta

Durante el período de colección fecal, se muestreó también la ingesta consumida, mediante cánula esofágica instalada quirúrgicamente a los animales. 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 consecutivos¹¹⁹. Las muestras fueron secadas al medio ambiente, mezcladas y rotuladas para su posterior análisis (selectividad, composición de FDN y CIA).

Para estas actividades, se construyó un corral de paneles metálicos en medio del campo para un mejor manejo, donde se introdujo a los animales en la mañana y tarde para colocar y retirar sus bolsas de colección.

3.7 Animales y alimentación en confinamiento

Animales. Fue necesario 4 alpacas y 4 llamas machos con 2 años de edad, clínicamente sanos, proveniente de la población de alpacas y llamas al pastoreo del CIP La Raya de la Universidad Nacional del Altiplano.

Alimentación. La dieta experimental fue un concentrado fibroso para alpacas y llamas, elaborado con forrajes de heno de avena (*Avena sativa*) y heno de alfalfa (*Medicago sativa*), procesado con un molino/picador forrajero Trapp TRF-700, a 12mmØ de tamaño de partícula, con adición de minerales¹²⁰, (sal y rocsalfos). 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).

Cuadro 3. 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%

Fuente: Elaborado en base al estudio.

La ración suministrada para cada animal fue la misma en composición, variando solamente la cantidad en cada uno de ellos y en cada etapa, siendo las dietas:

Mantenimiento (M) = $PM \cdot 0.04 \text{kg}$.

Intermedio bajo (IB) = $PM \cdot 0.05 \text{kg}$.

Intermedio alto (IA) = $PM \cdot 0.06 \text{kg}$.

Ad libitum (AL) = $PM \cdot 0.07 \text{kg}$.

Siendo $PM = \text{Peso metabólico} = (\text{peso vivo})^{0.75}$, los datos se expresaron sobre la base del peso corporal metabólico¹²¹, que se distribuyeron según el cuadro 4.

Los niveles de consumo de materia seca (MS) se administró de acuerdo al nivel de alimentación, entre $44 \text{ g/W}^{0.75}$ en el nivel de mantenimiento y $60 \text{ g/W}^{0.75}$ en el nivel ad libitum¹²², con un promedio de $52 \text{ g/W}^{0.75}$, por lo que las cantidades de materia seca a suministrar a los demás niveles de alimentación fueron 1.25, 1.50 y 1.75 veces el consumo en el nivel de mantenimiento, las mismas que se ajustaron en el período de acostumbamiento. Las alpacas y llamas consumieron agua de la misma fuente con suministración permanente.

3.8 Instalaciones y equipos para el estudio en confinamiento

Las instalaciones fueron 8 jaulas de alimentación (4 jaulas por especie) de 1.2m x 2.5m, construido con troncos de eucalipto, fijados con pernos metálicos, y techo de calamina; en éstos se les suministró el concentrado fibroso. La cámara de respiración de circuito cerrado fue la misma descrita anteriormente.

Equipos:

- Equipo Gasmeter DX-4030.
- Balanza electrónica digital de plataforma con capacidad de 500/0.1 kg.
- Balanza analítica marca T-scale con capacidad de 200/0.0001 g.
- Molino/picador forrajero Trapp TRF-700.

Etapas pre experimental en consumo de concentrado fibroso

El proceso de acostumbramiento para el consumo de concentrado fibroso, se realizó en un corral metálico de 18m², por el tiempo de 15 días, para después llevar a las jaulas individuales de alimentación.

Etapas experimental para animales confinados

El experimento se realizó en 4 etapas, con cuatro diferentes niveles (dietas) de concentrado fibroso, en 4 alpacas y 4 llamas, teniendo una duración de 2 semanas por cada etapa, en cada etapa se le suministró un nivel de dieta de concentrado fibroso distinto a cada animal, los seis primeros días de cada etapa fue de acostumbramiento a la dieta establecida para cada animal, y a partir del séptimo día se realizó la toma de muestra de emisión de metano entérico.

Cuadro 4. Suministro de cuatro niveles de concentrado fibroso, CIP La Raya-2017.

	Animal 1	Animal 2	Animal 3	Animal 4
Etapa 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

Fuente: Elaborado en base al estudio.

Procedimiento para medir el metano en animales en confinamiento

El registro de la emisión de CH₄ se realizó con el analizador de gases Gasmeter DX-4030, en una cámara de acumulación de gases de 9.78 m³, obteniendo resultados en ppmv, para después transformar a g/día, moles/día, y L/día de CH₄, considerando la temperatura, humedad, presión atmosférica y altitud del lugar; a diferentes niveles de consumo de concentrado fibroso, en alpacas y llamas en condiciones de altura (4200 msnm).

3.9 Procedimiento general en la medición del metano entérico

Los animales ingresaron a la cámara de respiración uno a uno, a partir de las 6:00 horas (2h antes del pastoreo) y a las 18:00 horas (2h después del pastoreo), por que la mayor producción de CH₄ ocurre entre 2 a 4 horas después del consumo⁸⁹ y permanecieron en el interior durante 20 minutos. El analizador, previa calibración con el aire atmosférico, fue colocado en el interior de la cámara de respiración con el sensor ubicado a 1.20 m, de altura. El control del aparato se realizó desde el exterior por sistema inalámbrico (Bluetooth) de un PDA (personal digital assistant). La masa de aire contenida en la cámara de respiración se analizó cada 5 minutos, 3 veces por alpaca y por sesión,

tomándose como dato final la medición del minuto 20, donde el animal es la única fuente de metano¹²³, que el metano (primera ley de Fick), fluye desde una región de alta concentración hacia una región de baja concentración¹²⁴, con un coeficiente de difusión de 0.2168 m²/s en el aire, a 298.2°K y 1 atm de presión¹²⁵. Luego de retirar al animal, los gases fueron expulsados de la cámara por ventilación mecánica forzada hasta que el registro de metano y CO₂ en el PDA sea cero, en cerca de 10 min. El manejo de los animales se realizó acorde al protocolo de medición de las emisiones de metano en ovinos¹²⁶. Los resultados se visualizaron en la pantalla del PDA, en partes por millón en volumen (ppmv).

Dado que las mediciones se realizaron en condiciones de altitud, presión y temperatura distintas a las del nivel mar, y considerando que la altitud tiene efecto sobre la presión atmosférica⁴⁰ y la presión atmosférica sobre las concentraciones de los gases³⁴, fue necesario corregir la presión atmosférica por efecto de la altitud (P_h) mediante la siguiente fórmula¹²⁷:

$$P_h = P * \left(\frac{288 - 6.5h}{288} \right)^{5.2558}$$

Donde:

P_h = presión atmosférica en altitud (mm Hg)

P = presión atmosférica en nivel del mar (mm Hg)

h = altitud (Km).

La concentración absoluta de metano (CH₄, mg/m³) se estimó considerando la presión calculada y la temperatura registrada en altitud, tomando en cuenta el peso molecular del CH₄ = 16.04246 g/mol³⁴, según la siguiente fórmula:

$$\text{CH}_4, \text{mg/m}^3 = \frac{P_h * M * \text{ppm}}{RT}$$

Donde:

P_h = presión atmosférica en altitud (mm Hg)

m^3 = volumen de la cámara de medición.

M = peso molecular de metano (g/mol)

ppmv = partes por millón por volumen

R = constante universal de los gases (62.4)

T = temperatura (273.15 + °C).

Como la humedad forma parte de los gases del aire atmosférico, se realizó la corrección de la concentración de los gases a base seca, con la fórmula¹²⁷:

$$C_{\text{Base seca}} = \frac{C_{\text{Base húmeda}}}{(1-H)}$$

Dónde:

C = concentración de CH_4 en el aire atmosférico (mg/m^3)

H = humedad del aire atmosférico (fracción de 1).

La masa y volumen de los animales fue necesario restar del volumen total de la cámara de respiración.

3.10 Cálculo del volumen corporal

El volumen corporal de los animales se estimó mediante la fórmula del cilindro adaptada para camélidos¹²⁸:

$$V_c = r^2h$$

$$D: \pi = 3.1416$$

r = radio

h = altura)

El radio se dedujo de la fórmula de la circunferencia ($C = 2\pi r$, $r = C/2\pi$); para el caso en cuestión, se aprovechó el perímetro torácico del animal como circunferencia (cm), medido desde la parte más alta de la cruz, pasando por detrás del miembro torácico (borde caudal). La altura fue representada por el largo del cuerpo (cm), medido desde la punta del hombro (tuberosidad humeral) hasta la punta de nalga (tuberosidad isquiática). Por consiguiente, el volumen corporal fue calculado en centímetros cúbicos (cm^3), luego convertido en litros y en metros cúbicos (m^3). Todas las medidas de dimensión y peso fueron registradas en las mañanas, antes de que los animales sean alimentados. A partir de datos del peso vivo (Kg) y volumen corporal (m^3) de alpacas machos y hembras adultas se generó la siguiente ecuación de predicción para estimar el volumen corporal de los animales:

$$Y = 0.0011x + 0.0041 \quad (R^2 = 0.9727) \quad \text{para machos}$$

$$Y = 0.0011x + 0.0026 \quad (R^2 = 0.9695) \quad \text{para hembras}$$

Donde:

y = volumen corporal (m^3)

x = peso corporal (Kg).

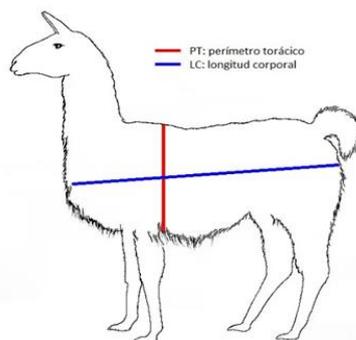


Figura 2 Cálculo del volumen corporal en alpacas y llamas.

Figura 2. Cálculo de volumen corporal en alpacas y llamas¹²⁸

3.11 Procedimiento en laboratorio

La dieta colectada por cánula esofágica fue examinada en el cuadrante de 10x10 para obtener el porcentaje de selectividad de pastos consumidos por el animal (alpacas y llamas). Luego fueron molidas y filtradas en un tamiz de 1 mm, ya que el marcador presente en los alimentos puede estar contaminado con suelo durante el consumo¹²⁹.

Las muestras de la dieta consumida y heces recuperados fueron analizadas para determinar FDN y contenido de ceniza insoluble en ácido. La materia seca se determinó por secado en horno de convección a 60°C hasta el peso constante; la fibra detergente neutro por un método conocido⁷⁴; y la ceniza insoluble en ácido, por tratamiento de las cenizas con una solución de HCl 2N¹³⁰.

3.12 Cálculo del consumo de materia seca en animales al pastoreo

El insumo de materia seca (IMS) de los animales en pastoreo se determinó a partir de la excreción fecal total y la digestibilidad de la dieta consumida¹³¹.

$$\text{IMS, } \frac{\text{g}}{\text{d}} = \frac{\text{excreción de materia seca en heces, g}}{1 - (\text{coeficiente de digestibilidad})}$$

La digestibilidad de la dieta consumida por el animal se determinó en forma indirecta utilizando ceniza insoluble en ácido como marcador interno (% en materia seca), en dieta y heces¹³², considerando su efectividad como el marcador más apropiado en estudios de digestión con una fuerte relación con el método de colección fecal total¹³³, y con la presunción de que el marcador interno no es digerido ni absorbido por el animal y que el flujo por el tracto digestivo es constante¹³⁴.

$$\text{DMS, \%} = \left(1 - \frac{\% \text{ indicador en dieta}}{\% \text{ indicador en heces}} \right) \times 100$$

Donde:

DMS= Digestibilidad de materia seca

3.13 Método de la ceniza insoluble en ácido

La ceniza insoluble en ácido está dado por minerales indigestibles, principalmente sílice. El método consiste en la determinación gravimétrica del contenido de ceniza insoluble en ácido, después del secado, incineración, ebullición de la ceniza en ácido clorhídrico, filtrado y lavado con agua destilada caliente y la re-incineración final¹³⁰.

Procedimiento:

- Pesar 5g de muestra seca y molida en crisol tarado de 50 ml.
- Secar toda la noche a 100°C, enfriar los crisoles en desecador.
- Incinerar la muestra a 600°C por 6 horas.
- Pasar la ceniza al vaso Berzelius de 600ml, agregar 100ml de HCl 2N.
- Hervir durante 5 minutos sobre una rejilla de fibra.

- Filtrar el hidrolizado caliente a través de un papel filtro Whatman 41.
- Lavar con agua destilada caliente para eliminar los residuos de ácido.
- Transferir la ceniza y papel filtro en el crisol y secar a 60°C.
- Incinerar el residuo a 600°C por 6 horas.
- Colocar el crisol en horno de 100°C para resecar.
- Enfriar en desecador y pesar.

Cálculo:

$$\text{CIA, \%} = \frac{(\text{peso de crisol} + \text{ceniza}) - \text{peso de crisol}}{\text{Peso de la muestra seca}} \times 100$$

3.14 Determinación de fibra detergente neutro

La fibra detergente neutro (FDN) es la medida más común usada en los análisis del contenido de fibra de los alimentos para los animales⁷⁴, mide la mayor parte de los elementos estructurales de las células vegetales (celulosa, hemicelulosa y lignina). El nivel de FDN en la ración del animal afecta el insumo de materia seca y el tiempo de rumia, además de la producción de metano.

Método de Peter Van Soest: Técnica analítica

- Colocar 1 g de muestra seca en un vaso de Berzelius.
- Agregar 100 ml de la solución detergente neutro (SDN).
- Hervir por un período de 60 minutos. Cuidar que la solución no rebalse.
- Filtrar y lavar la muestra con agua destilada caliente, cinco veces como mínimo.
- Enjuagar la muestra, con acetona, dos veces.
- Recuperar el residuo insoluble en un crisol de porcelana de peso conocido.
- Hacer secar por 72 horas o más.
- Pesar el crisol y el residuo insoluble seco.

- Incinerar el residuo a 600°C por 3 horas.
- Pesar el crisol y la ceniza.
- Reportar el resultado en porcentaje.

Cálculo:

$$\text{FDN, \%} = \frac{\text{Fibra perdida}}{\text{Muestra analizada}} \times 100$$

La emisión total de CH₄ entérico dentro de la cámara de respiración correspondió al resultado de la concentración absoluta del gas (mg/m³) y el volumen total del aire (m³) presente en la cámara⁷⁴. A partir de este valor se calculó la producción total de metano en 24 horas (g/día, mol/día, etc.):

$$\text{CH}_4 \frac{\text{mg}}{20 \text{ min}} = \text{Vol. Real cámara} * \text{mg/m}^3 \text{ base seca}$$

$$\text{CH}_4 \frac{\text{mg}}{\text{día}} = \text{mg}/20 \text{ min} * 72$$

Puesto que, una hora tiene 3 veces 20 minutos, en 24 horas habrá 72 veces 20 minutos, para que la representación sea por día, los resultados de CH₄ mg en 20 minutos se multiplicaron por 72.

Luego, el volumen de metano producido, a partir de la ecuación universal de gases ideales. La ley general de los gases ideales indica que 1 mol de gas ocupa 22.4 litros, a presión y temperatura estándar (760mmHg y 273.15°K); sin embargo, ese volumen varía cuando la presión y temperatura varíen por efecto de la altitud, de manera que el volumen de la emisión de CH₄ se estimó de acuerdo a la siguiente fórmula.

$$\text{Volumen de CH}_4, \frac{\text{litros}}{\text{día}} = \frac{n * R * T}{P_h}$$

Donde:

n = número de moles de metano (m/PM).

R = constante de los gases (62.4)

T = temperatura ($273.15 + ^\circ\text{C}_h$)

P_h = presión atmosférica en altitud (mmHg)

C_h = temperatura del aire en altitud ($^\circ\text{C}$).

3.15 Análisis estadístico.

En todos los análisis necesarios se calcularon medidas de tendencia central y dispersión (promedio, desviación estándar, coeficiente de variabilidad); los promedios fueron cotejados mediante la prueba de diferencia de medias, con la prueba de “t” (Student).

$$T_c = \frac{X_1 - X_2}{Sp \sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

Donde:

X_1 = Promedio de machos

X_2 = Promedio de hembras

Sp = Varianza ponderada

n_1 = Número de machos

n_2 = Número de hembra.

Para analizar los datos de los camélidos confinados se usó el diseño Cuadrado Latino $4 \times 4 \times 4$, con cuatro etapas (filas), cuatro animales (columnas) y cuatro niveles de consumo (tratamientos), mediante el procedimiento GLM (General Linear Model) del programa estadístico SAS, sujeto a los principios de

aleatoriedad, repetición y control local del error experimental, y los supuestos de normalidad de errores, independencia de las unidades experimentales y homogeneidad de varianzas, según el siguiente modelo aditivo lineal fijo, a un nivel de significancia de $\alpha= 0.05$.

$$Y_{ij} = \mu + \rho_i + \gamma_j + \tau_k + \xi_{ijk}$$

Donde:

Y_{ij} : Variable de respuesta

μ : Media general

ρ_i : Variación entre etapas (filas)

γ_j : Variación entre animales (columnas)

τ_k : Variación entre niveles de consumo (tratamientos)

ξ_{ijk} : Variación entre observaciones (error).

Para analizar los datos de las fichas de encuestas referidos al efecto del metano producido por los camélidos sudamericanos domésticos sobre la salud de la población del área de influencia se determinó solamente frecuencias, para el que se utilizó el programa estadístico SPSS versión 23.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 PRODUCCIÓN DE METANO EN ALPACAS Y LLAMAS AL PASTOREO

4.1.1 Producción de metano entérico en alpacas al pastoreo

Cuadro 5. 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 ₄	27.85±1.18	32.22±1.27	30.0±2.6
mg/20min CH ₄	30.3±2.0	27±3.4	28.65±3.09
mg/d CH ₄	18621.1±1.2	16769.92±2112.43	17695.51±1877.32
g/d CH ₄	18.6±1.2	16.8±2.1	17.7±1.9
Mol/d CH ₄	1.2±0.1	1.1±0.13	1.1±0.1
L/d CH ₄	45.5±3.0	41±5.2	43.2±4.6
L/Kg IMS CH ₄	34.8±7.5	46.9±4.3	40.9±8.6
L/W ^{0.75} CH ₄	2.1	2.2	2.2±0.2

Fuente: Elaborado en base a los datos obtenidos.

Los datos hallados para ambos sexos no presentaron diferencia estadística (P>0.05).

Los resultados de esta investigación fueron similares a 44.2 ± 1.2 Lt/d de CH_4 reportados para alpacas alimentadas con forraje entero del anexo Quimsachata de la estación experimental ILLPA del Instituto Nacional de Innovación Agraria INIA-Puno⁴⁹, también fueron parecidos a 18.8 g/d para ovejas alimentadas con heno de alfalfa¹⁹. La similitud de los resultados encontrados con otros estudios se debe, probablemente, al uso del método y equipo de medición, al manejo, a la altitud y al medio ambiente muy parecido para cada investigación.

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_6)¹⁹. La diferencia de los resultados encontrados 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, los datos encontrados 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 altitud³⁹, también son superiores a 14.9 g/d reportado para alpacas alimentados con heno de alfalfa¹⁹. 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.

Cotejando con otros reportes, nuestros resultados fueron ligeramente menores a 18.3 g/d para ovinos (mayores a un año) alimentados con ensilado⁹¹, mayores a 25 a 55 litros por día^{51,135}. La diferencia existente entre los estudios se debería

a la alimentación, al manejo, a la especie, a la altitud y a los medio ambientes distintos para cada trabajo realizado.

Para el ganado bovino reportaron 150 a 420 Lt de CH₄ /d.^{51, 135} y entre 250 y 500 litros/d de metano⁴³; además, se reportó 368 g/d para vacas lecheras pastoreados en leguminosas y gramíneas¹³⁶, 345-388 g/CH₄/d para vacas lecheras⁵³. La diferencia existente entre los estudios en mención, se debería a que los vacunos son animales de mayor tamaño, por tanto, consumen mucho más alimento que los camélidos sudamericanos.

4.1.2 Producción de metano entérico en llamas al pastoreo

Cuadro 6. 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 ₄	58.9±4.0	50.9±4.6	54.9±5.8
mg/20min CH ₄	529.91±36.47	474.49±42.63	502.2±47.9
mg/d CH ₄	38153.3±2626.1	34163.2±3069.4	36158.2±3397.3
g/d CH ₄	38.2±2.6	34.2±3.1	36.2±3.4
Mol/d CH ₄	2.4±0.2	2.1±0.2	2.3±0.2
L/d CH ₄	93.1±6.4	83.3±7.5	88.2±8.3
L/Kg IMS CH ₄	51.5±6.6	84.6±3.2	68.0±18.3
L/W ^{0.75} CH ₄	2.7	2.8	2.8±0.1

Fuente: Elaborado en base a los datos obtenidos.

Los resultados hallados para ambos sexos no presentaron diferencia estadística (P>0.05).

Los resultados 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 altitud³⁹; también es superior a 25.43 ppm encontrado para alpacas del anexo Quimsachata de la estación experimental ILLPA del Instituto Nacional de Innovación Agraria INIA-Puno⁴⁹ y de igual forma es superior a 3 ensayos (SF₆): 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 al pastoreo en pastos de Lotus originando 19.1 g/d en alpacas y 22.0 g/d en ovejas⁵⁰. Los datos diferentes entre éste y otros estudios se pueden atribuir al efecto que ejerce la altitud sobre la presión atmosférica, al tipo de alimentación, al manejo y al área geográfica distinto para cada investigación.

Para otras especies lograron 18.3 g/d para ovinos adultos (mayores de un año) alimentados con ensilado⁹¹, también reportaron 25 a 55 litros por día en ovejas^{135,51}. Las diferencias con los resultados encontrados se pueden atribuir a las distintas metodologías empleadas, a la especie, a la altitud, al ámbito geográfico, al manejo distinto para cada estudio efectuado.

Comparando con vacunos, nuestros resultados fueron mucho menores, así con espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FTIR), en vacas suplementadas con concentrado fibrosa y un grupo control, se halló 152.48±5.48 ppm para vacas suplementadas con concentrado fibroso y 166.26±7.95 ppm para vacas del grupo control⁴³; también reportaron entre 250 a 500 Lt de CH₄/animal/día en estudios *in vivo*⁴³; de igual forma revelaron que, una vaca adulta puede producir alrededor de 300 a 600 Lt de CH₄/animal/día, en pruebas *in vitro*¹³⁷; de la misma manera lograron 368 g/d en vacas Holando en lactación alimentadas al pastoreo con leguminosas y gramíneas⁵²; asimismo, obtuvieron entre 345-388 g/d de metano en vacas lecheras con similares niveles de

consumo y de producción⁵³ y 911.7 L/d, con variación de concentración de CH₄ entre 20 a 32 %, originando en promedio 247 Lt/d de CH₄ mediante la técnica por colecta directa del rumen con una fístula hacia un contenedor de nylon⁸. Las diferencias de los hallazgos entre éste estudio y otros, entre bovinos y camélidos, se puede atribuir a la alimentación, ámbito geográfico, a las variedades de microorganismos propios de cada especie y principalmente a tamaño animal diferente para cada investigación.

4.1.3 Consumo de materia seca en alpacas al pastoreo

El consumo de materia seca en alpacas al pastoreo fue 1320.58±263.4 g/d para machos y 908.472±160.7 g/d para hembras, con un promedio de 1114.5±298.86 g/d. Los resultados para sexo del animal, presentaron diferencia estadística; esta desigualdad se debería al tamaño y peso vivo diferentes de cada género animal, puesto que a mayor peso del animal mayor es el consumo de alimentos¹³⁸.

Los datos encontrados en éste estudio fueron semejantes a 1190 g/d de CH₄ obtenidos para alpacas alimentadas con pastos mejorados en época seca¹³⁹; de igual modo a 1123 g/d de CH₄ encontrados para alpacas alimentadas en bofedales¹⁴⁰. La similitud de los resultados, se debe probablemente, al manejo, a la técnica de medición de metano, al área geográfica y a la alimentación similar en los estudios desarrollados.

Pero, los resultados hallados en el presente estudio fueron menores a 1207.87 g/día de CH₄ logrados para alpacas machos con 3.5 años del CIP La Raya, en época de lluvias¹⁴¹ y también fue menor a 1.2±0.28 Kg/d de CH₄ reportado para el IVITA La Raya en el Cusco¹⁴². La diferencia con otros autores se debería al

ámbito geográfico, a la disponibilidad de alimentos, al manejo, a la cantidad de animales distintos, y principalmente a la época del año diferente en los que se realizaron los estudios.

4.1.4 Consumo de materia seca en llamas al pastoreo

El consumo de MS para llamas al pastoreo fue 1838 g/d para machos y 984.6 g/d para hembras, y el promedio fue 1411.57 ± 505.7 g/d; los datos encontrados para sexo animal no presentaron diferencia estadística.

Los resultados hallados fueron superiores a 1003.58 g/d de consumo de MS para llamas con un peso promedio de 46.24 kg y a 437.6 g/d de consumo de MS obtenido para ovinos con un peso promedio de 14.98 kg., en llamas y ovinos de 1 año, alimentados con heno de alfalfa y crespillo¹⁴³. Las diferencias de los resultados encontrados con otros estudios se deberían al peso, a la edad, al manejo, a la alimentación, a la especie animal, al medio geográfico distintos para cada estudio realizado.

En cambio los nuestros resultados fueron menores a 1.8 y 2.0% de consumo de MS por peso vivo para alpacas y llamas, respectivamente¹⁴⁴; y también fue menor a 489.70 g/d de consumo de MS con alimentación preferente de *Trifolium pratensis* (layu), de igual forma fue menor a 380.69 g/d de consumo de MS con alimentación basado en el pastizal nativo *Bromus catharticus* (Cebadilla) para llamas de 18 meses de edad¹⁴⁵. La diferencia entre los resultados se debería a que el consumo de materia seca en llamas, varía de acuerdo a los meses del año, al desarrollo fenológico de las praderas, al contenido de humedad, a la edad, al peso metabólico, al estado fisiológico del animal distintos en cada estudio.

4.1.5 Selectividad de pastos en alpacas al pastoreo

Cuadro 7. Selectividad de pastos en alpacas al pastoreo, CIP La Raya-2017.

Especies	Machos	Hembras	Promedio
<i>Festuca dolichophylla</i>	31.0	19.7	25.3
<i>Calamagrostis spp</i>	30.3	19.7	25.0
<i>Bromus unioloides</i>	16.3	21.7	19.0
<i>Hipochoeris taraxacoides</i>	13.7	18.0	15.8
<i>Eleocharis albibracteata</i>	6.0	14.7	10.3
<i>Alchemilla pinnata</i>	1.3	3.7	2.5
Otros	1.3	2.7	2.0
Total	100	100	

Fuente: Elaborado en base a los datos obtenidos.

Los resultados hallados para genero animal no presentaron diferencia estadística ($P > 0.05$). La alta selectividad de la asociación FEDO/CAVI se debería a que fueron las especies más abundantes en el lugar de estudio.

Los resultados logrados en el presente estudio fueron semejantes a *Festuca dolichophylla* 48.19% y *Calamagrostis crysanta* 14.08%, mas no así en el porcentaje, para un estudio con fistula esofágica en el CIP-La Raya¹⁴⁶. Los resultados similares encontrados se deben, probablemente, al hecho de haberse realizado los estudios en el medio geográfico, la altitud, la flora y al manejo de animales similares para ambos estudios.

Sin embargo, los datos hallados fueron mayores al reporte de *Festuca dolichophylla* 7.98% y *Calamagrostis spp* 9.03%, *Bromus unioloides* 10.00%, *Hipochoeris taraxacoides* 8.44%; y *Eleocharis albibracteata* 4.78%, *Alchemilla pinnata* 4.8%¹⁴⁷; de igual forma fueron mayores al reporte de *Hipochoeris stenocephala* 30.37%, *Eleocharis albibracteata* 22.19%; y *Calamagrostis rigescens* 14.28%, en menor cantidad *Festuca dolichophylla* 4.82% para alpacas fistuladas¹⁴⁰. Los resultados logrados difieren con otros estudios debidos, quizás,

al medio ambiente, a la época, a la disponibilidad de pastizales, al manejo de animales, a la técnica empleada y la alimentación distintos para cada estudio.

4.1.6 Selectividad de pastos en llamas al pastoreo

Cuadro 8. Selectividad de pastos en llamas al pastoreo, CIP La Raya-2017.

Especies	Machos	Hembras	Promedio
<i>Calamagrostis spp</i>	41.3	48.3	44.8
<i>Festuca dolichophylla</i>	42.0	35.0	38.5
<i>Eleocharis albibracteata</i>	11.3	6.3	8.8
<i>Bromus uniolooides</i>	3.3	7.3	7.3
<i>Hipochoeris taraxacoides</i>	1.7	1	1
<i>Mulembergia fastigiata</i>	0	2	1
Otros	0.3	0	0.2
Total	100	100	

Fuente: Elaborado en base a los datos obtenidos.

Los datos obtenidos en éste estudio, para ambos sexos de animales, no presentaron diferencia estadística ($P > 0.05$).

Los resultados logrados en el presente estudio son análogos al reporte de *Festuca dolichophylla* en 42%, *Stipa brachyphylla* 11%, *Calamagrostis vicunarum* 45%¹⁴⁸; de igual forma, al comparar la selectividad de alimento entre ovinos, alpacas y llamas se observó que los ovinos son los animales más selectivos y las alpacas ocupan una posición intermedia entre ovinos y llamas¹⁴⁴. El parecido de los resultados hallados con otros trabajos se debe, tal vez, al área geográfica, al manejo de animales, a la alimentación y a las técnicas utilizadas similares para cada estudio hecho.

4.2 PRODUCCIÓN DE METANO EN ALPACAS Y LLAMAS EN CONFINAMIENTO

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

Cuadro 9. Producción de metano en alpacas a diferentes niveles de consumo, CIP La Raya-2017.

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

Fuente: Elaborado en base a los datos obtenidos.

Los resultados encontrados presentaron diferencia estadística a diferentes niveles de consumo, siendo la ración de mantenimiento 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.

Los resultados hallados en este estudio fueron superiores a lo reportado para alpacas en 3 pruebas (con técnica de SF₆), 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 ovejas⁵⁰; también fue superior a 44.2 ± 1.2 CH₄ Lt/d encontrado para alpacas alimentadas con forraje entero del anexo Quimsachata

de la estación experimental ILLPA del Instituto Nacional de Innovación Agraria INIA-Puno⁴⁹. La diferencia entre los resultados de los estudios podría atribuirse a la cantidad de alimento consumido, al método de medición, al manejo de los animales y al tipo de alimentación distintos para cada investigación.

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

Cuadro 10. Producción de metano 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 ^d	30.1±3.3 ^c	34±4.7 ^b	38.9±4.8 ^a	32.46±5.8
Moles/día	1.7±0.1 ^d	1.9±0.2 ^c	2.1±0.3 ^b	2.4±0.3 ^a	2.02±0.37
Litros/día	64.4±4.9 ^d	72.3±8.2 ^c	81.8±11.2 ^b	93.4±11.7 ^a	77.97±13.96

Fuente: Elaborado en base a los datos obtenidos.

Los resultados encontrados presentaron diferencia estadística a diferentes niveles de consumo, 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.

Los resultados de esta investigación 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 altitud³⁹; asimismo fueron superiores a 25.43 ppm de metano encontrado para alpacas del anexo Quimsachata de la estación experimental

ILLPA del Instituto Nacional de Innovación Agraria INIA-Puno⁴⁹; de igual forma fueron superiores a los datos encontrados en 3 pruebas (con técnica de SF₆) 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 ovejas⁵⁰. 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.

4.3 DEDUCCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE METANO ENTÉRICO EN ALPACAS Y LLAMAS EN EL PERÚ

Cuadro 11: Dedución 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

Fuente: Elaborado en base a los datos obtenidos.

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; constituyéndose así en una de las peores crisis en la actualidad por las que está pasando la humanidad y el planeta Tierra.

En consecuencia, esta situación 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. Al respecto existe un sinnúmero de evidencias

objetivas y subjetivas que día a día se hacen más notorias y catastróficas como: sequias, inundaciones, incendios, epidemias y migraciones atípicas en tiempo y lugar son tan solo algunas de estas consecuencias que se está teniendo y si continúa así las futuras generaciones están en riesgo al igual que su sostenibilidad⁴. Entonces, 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; sin embargo, la mayoría de las repercusiones del cambio climático en la salud son esencialmente adversas. Estos cambios en los sistemas humanos y naturales se prevén graves, de largo alcance y capaces de afectar excesivamente a los sectores poblacionales más vulnerables física y económicamente¹⁰⁴.

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-que se hallan en los países en desarrollo- serán las menos aptas para prepararse ante esos cambios y responder a ellos si no reciben ayuda¹¹².

Finalmente, 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, asociados a

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 de su presentación, 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 altoandina, elevación de la temperatura del mar y disminución de la temperatura en la selva¹⁰⁶.

4.4 EFECTO DEL METANO EMANADO POR LOS CAMÉLIDOS EN LA SALUD DE LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

Para determinar algunos efectos aparentes del metano producido por los camélidos sudamericanos domésticos sobre la salud de la población del área de influencia se realizó encuestas a cuarenta productores y los resultados fueron: el 100 de productores encuestados se dedican a la crianza de camélidos sudamericanos; el 20% tuvo enfermedad anterior a la crianza de CSA y el 80% no tuvo ninguna enfermedad; el 35% sabía de la existencia del metano y el 65% no sabía; el 2.5% sabía que los CSA producen metano y el 97.5% no sabía; el 2.5% conocía que el metano afecta la salud y el 97.5% no sabía; el 2.5% notó el olor extraño, el 35% percibió alguna vez y el 62.5% no percibió; el 37.5% percibió el olor en el corral y el 62.5% no percibió en ningún lugar; el 12.5% percibió con 300 animales, el 25% percibió con 400 animales y 62.5% no percibió; otras molestias fueron percibidas en un 50% dentro del corral y el 50% restante no percibió ningún molestia; el 2.5% sintió que se asfixiaba, el 20% alguna vez y el 77.5% no sintió asfixia; el 2.5% sintió mareos, el 10% alguna vez sintió y el 87.5% no sintió mareos; el 2.5% apreció dolor de cabeza, el 32.5% alguna vez y el 65% no apreció dolor de cabeza; el 2.5% apreció nauseas, el 32.5% alguna vez y 65%

no sintió náuseas; el 10% sintió adormecimiento y el 90% no apreció; el 5% sintió sueño, el 7.5% alguna vez y el 87.5% no sintió sueño; el 100% de productores no perdió el conocimiento; el 7.5% reveló irritación nasal, el 35% alguna vez y el 57.5% no reveló irritación nasal; el 7.5% sintió estornudos, el 37.5% alguna vez y el 55% no mostró estornudos; el 5% exhibió irritación de la mucosa bucal y el 95% no exhibió; el 2.5% ostentó irritación de la mucosa ocular, el 17.5% alguna vez y el 80% no ostentó irritación ocular; el 2.5% presentó molestias auditivas y el 97.5% no presentó; el 2.5% presentó irritación laríngea, el 35% alguna vez y 62.5% no presentó irritación laríngea; el 2.5% sintió palpitaciones del corazón y el 97.5% no sintió; finalmente, el 2.5% apreció dolor renal y el 97.5% no percibió. Las dolencias prevalentes encontradas 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 dentro de los corrales. Estos hallazgos pueden deberse, probablemente, al efecto del metano producido por los camélidos sudamericanos domésticos, con quienes conviven constantemente; sin embargo, podría deberse, también, a otras dolencias ocultas y no diagnosticadas.

Los resultados encontrados en este estudio coinciden con lo manifestado por otros investigadores que indican, el metano, una vez inhalado el gas 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_2 y CO_2 , de los pulmones pasa a

sangre, de sangre al cerebro, del cerebro al sistema nervioso central y del sistema nervioso central, al corazón^{5,107}.

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 927,982.36TM/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.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar estudios similares en los camélidos sudamericanos restantes para globalizar la información.
- Contar con más equipo analizador de gases Gasmeter DX-3040 para seguir desarrollando investigaciones referidos a gases de impacto en la salud pública.
- Capacitar y especializar a personas para el manejo y mantenimiento del equipo analizador de gases Gasmeter DX-3040.
- Reservar más animales de los CIP-UNA para continuar con el desarrollo de investigaciones afines; como la crianza de los camélidos sudamericanos domésticos en confinamiento para mitigar la producción de metano.

BIBLIOGRAFÍA

1. Knapp JR, Laur GL, Vadas PA, Weiss WP, Tricarico JM. Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: Quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *J Dairy Sci.* 2014;97(6):3231-3261. doi:10.3168/jds.2013-7234.
2. Bryant FC, Farfan RD. Dry Season Forage Selection by Alpaca [Lama pacos] in Southern Peru. *J Range Manag.* 1984;37(4):330-333. doi:10.2307/3898705.
3. Genin D, Abasto P, Choque S, Magne J. Dung ash treatment of a native forage to improve livestock feeding in low-input Andean pastoral systems. *Livest Res Rural Dev.* 2002;14(2):41-48.
4. Gutiérrez JR, García MAM, Tapia CHM, Escobedo JJM, Mayorga EAG. *Biocenosis: Revista de Educación Ambiental.* Vol 31.; 2017. <http://201.196.149.98/revistas/index.php/biocenosis/article/view/1750>.
5. EEA, Copenhagen 2013. *Every Breath We Take Improving Air Quality in Europe.* (Luxembourg: Publications Office of the European Union 2013, ed.). Denmark; 2013. doi:10.2800/82831.

6. MÁ Pérez-Cabal, JP Gutiérrez, I Cervantes MA. Fibre Production in South American Camelids and Other Fibre Animals.; 2011. doi:10.3920/978-90-8686-727-1.
7. Smith J, Sones K, Grace D, MacMillan S, Tarawali S, Herrero M. Beyond milk, meat, and eggs: Role of livestock in food and nutrition security. Anim Front. 2013;3(1):6-13. doi:10.2527/af.2013-0002.
8. Cárdenas JAB, Flores CL. Emisión de metano entérico por rumiantes y su contribución al calentamiento global y al cambio climático. Revisión. Rev Mex Ciencias Pecu. 2012;3(2):215-246.
9. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Resultados Definitivos. IV Censo Nacional Agropecuario 2012. Lima, Perú; 2013.
10. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Compendio estadístico del Perú 2013. Tomo I. Lima, Perú; 2013.
11. Vallenás A, Cummings JF, Munnell JF. A gross study of the compartmentalized stomach of two new-world camelids, the llama and guanaco. J Morphol. 1971;134(4):399-423. doi:10.1002/jmor.1051340403.
12. Hofmann RR. Evolutionary steps of ecophysiological adaptation and diversification of ruminants: a comparative view of their digestive system. Oecologia. 1989;78(4):443-457. doi:10.1007/BF00378733.
13. Bello A, Lawal UF, Onyeausi BI, et al. Prenatal development of the kidney of one-humped camel (*Camelus dromedarius*) - A histomorphometric study. African J Biomed Res. 2013;16(1):31-37.

14. Ligginstoffer AS, Youssef NH, Couger MB, Elshahed MS. Phylogenetic diversity and community structure of anaerobic gut fungi (phylum Neocallimastigomycota) in ruminant and non-ruminant herbivores. *ISME J.* 2010;4(10):1225-1235. doi:10.1038/ismej.2010.49.
15. Langer P. Adaptational significance of the forestomach of the collared peccary, *Dicotyles tajacu* (L. 1758) (Mammalia: Artiodactyla). *Mammalia.* 1979;43(2):235-246. doi:10.1515/mamm.1979.43.2.235.
16. Nse Abasi N. Etim, Edem E. A. Offiong mew growth stimulating effects of *aspilia africana* fed to female pseudo-ruminant herbivores (rabbits) at different physiological states. *Eur Sci J.* 2014. <http://eujournal.org/index.php/esj/article/view/4214>.
17. Wikiteka. Biología: Rumiantes. Apuntes. www.wikiteka.com/apuntes/animal-5/. Published 2010.
18. Liu Q, Dong CS, Li HQ, et al. Forestomach fermentation characteristics and diet digestibility in alpacas (*Lama pacos*) and sheep (*Ovis aries*) fed two forage diets. *Anim Feed Sci Technol.* 2009;154(3-4):151-159. doi:10.1016/j.anifeedsci.2009.08.012.
19. Pinares-Patiño CS, Ulyatt MJ, Waghorn GC, et al. 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.* 2003;140(2):215-226. doi:10.1017/S002185960300306X.
20. García W V, San Martín FH, Novoa CM, Franco el engorde de llamas bajo diferentes regímenes alimenticios. *Rev Inv Vet Perú.* 2002;13(2):1-9.

21. Marca Choque US. Anatomía veterinaria I y II. 2010:37.
22. San Martín F, Bryant FC. Nutrition of domesticated South American llamas and alpacas. *Small Rumin Res.* 1989;2(3):191-216. doi:10.1016/0921-4488(89)90001-1.
23. Cummings JF, Munnell JF, Vallenás A. The mucigenous glandular mucosa in the complex stomach of two new-world camelids, the llama and guanaco. *J Morphol.* 1972;137(1):71-109. doi:10.1002/jmor.1051370106.
24. Isaacson HR, Hinds FC, Bryant MP, Owens FN. Efficiency of energy utilization by mixed rumen bacteria in continuous culture. *J Dairy Sci.* 1975;58(11):1645-1659. doi:10.3168/jds.S0022-0302(75)84763-1.
25. Hespell RB, Bryant MP. Efficiency of rumen microbial growth: influence of some theoretical and experimental factors of YATP. *J Anim Sci.* 1979;49(6):1640-1659.
26. Vallenás, A. y Stevens E. Motility of the llama and guanaco stomach. *Am J Physiol.* 1971.
27. Maydana D, Lima P. Conservación y aprovechamiento de la vicuña en áreas protegidas Experiencias de La Cooperación Alemana.; 2012.
28. Montzka SA, Dlugokencky EJ, Butler JH. Non-CO₂ greenhouse gases and climate change. *Nature.* 2011;476(7358):43-50. doi:10.1038/nature10322.
29. Forster et al. P. 2: Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis.* ; 2007:137. <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf>.

30. FAO. How to Feed the World in 2050. Insights from an Expert Meet FAO. 2009;2050(1):1-35. doi:10.1111/j.1728-4457.2009.00312.x.
31. Berra, G.; Finster, L., Valtorta SE. Una técnica sencilla para la medición de emisiones de metano entérico en vacas. Rev FAVE - Ciencias Vet 8. 2009.
32. Kirschke S, Bousquet P, Ciais P, et al. Three decades of global methane sources and sinks. Nat Geosci. 2013;6(10):813-823. doi:10.1038/ngeo1955.
33. Turner AJ, Jacob DJ, Wecht KJ, et al. Estimating global and North American methane emissions with high spatial resolution using GOSAT satellite data. Atmos Chem Phys. 2015;15(12):7049-7069. doi:10.5194/acp-15-7049-2015.
34. EPA. Inventory of u.s. greenhouse gas emissions and sinks: 1990-2014.; 2013. doi:EPA 430-R-16-002.
35. Seiler W. The cycle of atmospheric CO. Tellus A. 1974;26:1-2. doi:10.3402/tellusa.v26i1-2.9743.
36. Fiore AM. Atmospheric chemistry: No equatorial divide for a cleansing radical. Nat Int J Sci. 2014.
37. Trotsenko YA MJ. Metabolic aspects of aerobic obligate methanotrophy. Pubmed. 2008. doi:10.1016/S0065-2164(07)00005-6.
38. Doreau M, van der Werf HMG, Micol D, et al. Enteric methane production and greenhouse gases balance of diets differing in concentrate in the fattening phase of a beef production system. J Anim Sci. 2011;89(8):2518-

2528. doi:10.2527/jas.2010-3140.
39. Dittmann MT, Runge U, Lang RA, et al. Methane emission by camelids. PLoS One. 2014;9(4). doi:10.1371/journal.pone.0094363.
40. West JB. The physiologic basis of high-altitude diseases. Ann Intern Med. 2004;141(10):789-800. doi:141/10/789 [pii].
41. McAllister TA, Newbold CJ. Redirecting rumen fermentation to reduce methanogenesis. In: Australian Journal of Experimental Agriculture. Vol 48. ; 2008:7-13. doi:10.1071/EA07218.
42. Hook SE, Wright ADG, McBride BW. Methanogens: Methane producers of the rumen and mitigation strategies. Archaea. 2010;2010. doi:10.1155/2010/945785.
43. Johnson KA, Johnson DE. Methane emissions from cattle. J Anim Sci. 1995;73(8):2483-2492. doi:10.2527/1995.7382483x.
44. Shrestha S, Bindari Y, Shrestha N, Gaire T. Methane Gas Emission in Relation to Livestock. J Anim Prod Adv. 2013;3(5):1. doi:10.5455/japa.20130531095352.
45. Vargas, J., E. Cárdenas, M. Pabón JC. Emisión de metano entérico en rumiantes en pastoreo. Arch Zootec. 2012;61:51-66.
46. Baker, S.K. Patterns of methane production and feed intake in ruminants. Australia; 2002.
47. Pinares-Patiño CS, Waghorn GC, Hegarty RS, Hoskin SO. Effects of intensification of pastoral farming on greenhouse gas emissions in New

- Zealand. N Z Vet J. 2009;57(5):252-261.
doi:10.1080/00480169.2009.58618.
48. Vilca Oblitas G. Efecto del concentrado fibroso sobre las emisiones de metano enterico (CH₄) en vacas lecheras. 2015.
49. Machaca, M.; Quispe, C.; Castro, A.; Arroyo, G.; Huanca T., Roque, B.; Huanca W. Efecto de Dos Dietas Fibrasas en la Producción de Metano en Alpacas. RIA-UNA-PUNO. 2015;17:1.
50. Lassey KR, Pinares-Patiño CS, Martin RJ, Molano G, McMillan AMS. Enteric methane emission rates determined by the SF₆ tracer technique: Temporal patterns and averaging periods. Anim Feed Sci Technol. 2011;166-167:183-191. doi:10.1016/j.anifeedsci.2011.04.066.
51. McAllister TA, Cheng K-J, Okine EK, Mathison GW. Dietary, environmental and microbiological aspects of methane production in ruminants. Can J Anim Sci. 1996;76(2):231-243. doi:10.4141/cjas96-035.
52. Dini Y, Gere J, Briano C, et al. Methane emission and milk production of dairy cows grazing pastures rich in legumes or rich in grasses in Uruguay. Animals. 2012;2(2):288-300. doi:10.3390/ani2020288.
53. Westberg H, Lamb B, Johnson KA, Huyler M. Inventory of methane emissions from U.S. cattle. J Geophys Res Atmos. 2001;106(D12):12633-12642. doi:10.1029/2000JD900808.
54. Boadi D a., Wittenberg KM, Mccaughey WP. Effects of grain supplementation on methane production of grazing steers using the sulphur (SF₆) tracer gas technique. Can J Anim Sci. 2002;82:151-157.

doi:10.4141/A01-038.

55. Murray RM, Bryant AM, Leng RA. Rates of production of methane in the rumen and large intestine of sheep. *Br J Nutr.* 1976;36(1):1. doi:10.1079/BJN19760053.
56. Grainger C, Clarke T, McGinn SM, et al. Methane Emissions from Dairy Cows Measured Using the Sulfur Hexafluoride (SF₆) Tracer and Chamber Techniques. *J Dairy Sci.* 2007;90(6):2755-2766. doi:10.3168/jds.2006-697.
57. FAO. *World Agriculture: Towards 2030/2050.* Roma, Italy; 2006.
58. Ishler V, Heinrichs J, Varga G. From Feed to Milk: Understanding Rumen Function. *Ext Circ.* 1996;422:1-32.
59. Kim M, Morrison M, Yu Z. Status of the phylogenetic diversity census of ruminal microbiomes. *FEMS Microbiol Ecol.* 2011;76(1):49-63. doi:10.1111/j.1574-6941.2010.01029.x.
60. Tajima K, Nagamine T, Matsui H, Nakamura M, Aminov RI. Phylogenetic analysis of archaeal 16S rRNA libraries from the rumen suggests the existence of a novel group of archaea not associated with known methanogens. *FEMS Microbiol Lett.* 2001;200(1):67-72. doi:10.1016/S0378-1097(01)00201-4.
61. Sharp R, Ziemer CJ, Stern MD, Stahl DA. Taxon-specific associations between protozoal and methanogen populations in the rumen and a model rumen system. *FEMS Microbiol Ecol.* 1998;26(1):71-78. doi:10.1016/S0168-6496(98)00024-5.

62. Joblin KN, Matsui H, Naylor GE, Ushida K. Degradation of fresh ryegrass by methanogenic co-cultures of ruminal fungi grown in the presence or absence of fibrobacter succinogenes. *Curr Microbiol.* 2002;45(1):46-53. doi:10.1007/s00284-001-0078-5.
63. Naomi Attar. Archaeal genomics: A new phylum for methanogens. *Nat Rev Microbiol* 13. 2015. doi:doi:10.1038/nrmicro3589.
64. Janssen PH, Kirs M. Structure of the archaeal community of the rumen. *Appl Environ Microbiol.* 2008;74(12):3619-3625. doi:10.1128/AEM.02812-07.
65. St-Pierre B, Wright ADG. Molecular analysis of methanogenic archaea in the forestomach of the alpaca (*Vicugna pacos*). *BMC Microbiol.* 2012;12. doi:10.1186/1471-2180-12-1.
66. Thauer RK, Kaster AK, Seedorf H, Buckel W, Hedderich R. Methanogenic archaea: Ecologically relevant differences in energy conservation. *Nat Rev Microbiol.* 2008;6(8):579-591. doi:10.1038/nrmicro1931.
67. Morgavi DP, Forano E, Martin C, Newbold CJ. Microbial ecosystem and methanogenesis in ruminants. *Animal.* 2010;4(7):1024-1036. doi:10.1017/S1751731110000546.
68. Gao ZL, Yuan HJ, Ma WQ, Li JG, Liu XJ, Desjardins RL. Diurnal and Seasonal Patterns of Methane Emissions from a Dairy Operation in North China Plain. *Adv Meteorol.* 2011. doi:10.1155/2011/190234.
69. Aguerre MJ, Wattiaux MA, Powell JM, Broderick GA, Arndt C. Effect of forage-to-concentrate ratio in dairy cow diets on emission of methane,

- carbon dioxide, and ammonia, lactation performance, and manure excretion. *J Dairy Sci.* 2011;94(6):3081-3093. doi:10.3168/jds.2010-4011.
70. Wright A-DG, Auckland CH, Lynn DH. Molecular diversity of methanogens in feedlot cattle from Ontario and Prince Edward Island, Canada. *Appl Environ Microbiol.* 2007;73(13):4206-4210. doi:10.1128/AEM.00103-07.
71. Richter M, Křížová L, Třináctý J. The effect of individuality of animal on diurnal pattern of pH and redox potential in the rumen of dry cows. *Czech J Anim Sci.* 2010;55(10):401-407.
72. Blaxter KL, Wainman FW. Environmental temperature and the energy metabolism and heat emission of steers. *J Agric Sci.* 1961;56(1):81-90. doi:10.1017/S0021859600023832.
73. Van Nevel CJ, Demeyer DI, Henderickx HK. Effect of fatty acid derivatives on rumen methane and propionate in vitro. *Appl Microbiol.* 1971;21(2):365-366.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/5544299>
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC377178>.
74. Van Soest PJ. *Nutritional Ecology of the Ruminant.* Vol 43.; 1995. doi:10.1016/0301-6226(95)90011-X.
75. Ulyatt MJ, Lassey KR, Shelton ID, Walker CF. Methane emission from dairy cows and wether sheep fed subtropical grass-dominant pastures in midsummer in New Zealand. *New Zeal J Agric Res.* 2002;45(4):227-234. doi:10.1080/00288233.2002.9513513.

76. Ominski KH, Boadi D a., Wittenberg KM. Enteric methane emissions from backgrounded cattle consuming all-forage diets. *Can J Anim Sci.* 2006;86(3):393-400. doi:10.4141/A05-051.
77. Pedreira M dos S, Primavesi O, Lima MA, Frighetto R, Oliveira SG de, Berchielli TT. Ruminant methane emission by dairy cattle in Southeast Brazil. *Sci Agric.* 2009;66(6):742-750. doi:10.1590/S0103-90162009000600004.
78. Boadi D, Benchaar C, Chiquette J, Masse D. Mitigation strategies to reduce enteric methane emissions from dairy cows: update review. *Can J Anim Sci.* 2004;84(3):319-335. doi:10.4141/A03-109.
79. Choquemamani Mamani MB. Emisión de metano entérico en llamas al pastoreo en praderas andinas. 2017.
80. Sponheimer M, Robinson T, Roeder B, et al. Digestion and passage rates of grass hays by llamas, alpacas, goats, rabbits, and horses. *Small Rumin Res.* 2003;48(2):149-154. doi:10.1016/S0921-4488(03)00002-6.
81. John Lawrie. Pastures for alpacas in southern australia. Australia; 2004.
82. Hintz HF, Schryver HF, Halbert M. A note on the comparison of digestion by New World camels, sheep and ponies. *Anim Prod.* 1973;16(3):303-305. doi:10.1017/S0003356100030154.
83. Robinson DL, Goopy J, Hegarty RS. Can rumen methane production be predicted from volatile fatty acid concentrations? *Anim Prod Sci.* 2010;50(6):630-636. doi:10.1071/AN09214.

84. López S, Carro M., González J., Ovejero F. Comparison of different in vitro and in situ methods to estimate the extent and rate of degradation of hays in the rumen. *Anim Feed Sci Technol.* 1998;73:99-113. doi:10.1016/S0377-8401(98)00129-1.
85. Reiner RJ, Bryant FC. Botanical composition and nutritional quality of alpaca diets in two Andean rangeland communities. *J Range Manag.* 1986;39(5):424-427.
[http://sfx.gbv.de:9004/sfx_sub?sid=jstor%3Ajstor&genre=article&issn=0022409X&volume=39&pages=424-427&spage=424&epage=427&atitle=Botanical Composition and Nutritional Quality of Alpaca Diets in Two Andean Rangeland Communities&date=1986&title=Journal of R.](http://sfx.gbv.de:9004/sfx_sub?sid=jstor%3Ajstor&genre=article&issn=0022409X&volume=39&pages=424-427&spage=424&epage=427&atitle=Botanical+Composition+and+Nutritional+Quality+of+Alpaca+Diets+in+Two+Andean+Rangeland+Communities&date=1986&title=Journal+of+R.)
86. Johnson KA, Westberg HH, Lamb BK, Kincaid RL. The use of sulfur hexafluoride for measuring methane emissions from farm animals. In: *greenhouse gases and animal agriculture, proceedings.* ; 2002:105-113.
87. Bhatta R, Enishi O, Kurihara M. Measurement of methane production from ruminants. *Asian-Australasian J Anim Sci.* 2007;20(8):1305-1318. doi:10.5713/ajas.2007.1305.
88. Muñoz C, Yan T, Wills DA, Murray S, Gordon AW. Comparison of the sulfur hexafluoride tracer and respiration chamber techniques for estimating methane emissions and correction for rectum methane output from dairy cows. *J Dairy Sci.* 2012;95(6):3139-3148. doi:10.3168/jds.2011-4298.
89. Johnson K, Huyler M, Westberg H, Lamb B, Zimmerman P. Measurement of Methane Emissions from Ruminant Livestock Using a SF6Tracer

- Technique. Environ Sci Technol. 1994;28(2):359-362. doi:10.1021/es00051a025.
90. Lassey KR, Ulyatt MJ, Martin RJ, Walker CF, Shelton ID. Methane emissions measured directly from grazing livestock in New Zealand. *Atmos Environ*. 1997;31(18):2905-2914. doi:10.1016/S1352-2310(97)00123-4.
91. Swainson NM, Brookes IM, Hoskin SO, Clark H. Post-experiment correction for release rate in permeation tubes improves the accuracy of the sulphur hexafluoride (SF₆) tracer technique in deer. *Anim Feed Sci Technol*. 2011;166-167:192-197. doi:10.1016/j.anifeedsci.2011.04.010.
92. Deighton MH, Williams SRO, Hannah MC, et al. A modified sulphur hexafluoride tracer technique enables accurate determination of enteric methane emissions from ruminants. *Anim Feed Sci Technol*. 2014;197:47-63. doi:10.1016/j.anifeedsci.2014.08.003.
93. Ravishankara AR, Solomon S, Turnipseed AA, Warren RF. Atmospheric Lifetimes of Long-Lived Halogenated Species. *Science* (80-). 1993;259(5092):194-199. doi:10.1126/science.259.5092.194.
94. Madsen J, Bjerg BS, Hvelplund T, Weisbjerg MR, Lund P. Methane and carbon dioxide ratio in excreted air for quantification of the methane production from ruminants. *Livest Sci*. 2010;129(1-3):223-227. doi:10.1016/j.livsci.2010.01.001.
95. Lassen J, Løvendahl P, Madsen J. Accuracy of noninvasive breath methane measurements using Fourier transform infrared methods on individual cows. *J Dairy Sci*. 2012;95(2):890-898. doi:10.3168/jds.2011-

- 4544.
96. Haque MN, Cornou C, Madsen J. Individual variation and repeatability of methane production from dairy cows estimated by the CO₂ method in automatic milking system. *animal*. 2015;9(9):1567-1576. doi:10.1017/S1751731115000646.
 97. Bai M, Griffith DWT, Phillips FA, et al. Correlations of methane and carbon dioxide concentrations from feedlot cattle as a predictor of methane emissions. *Anim Prod Sci*. 2016;56(1). doi:10.1071/AN14550.
 98. Benchaar C, Rivest J, Pomar C, Chiquette J. Prediction of Methane Production from Dairy Cows Using Existing Mechanistic Models and Regression Equations. *J Anim Sci*. 1998;76(2):617-627. doi:10.2527/1998.762617x.
 99. Johnson KA, Westberg HH, Michal JJ, Cossalman MW. The SF₆tracer technique: Methane measurement from ruminants. In: *Measuring Methane Production from Ruminants.*; 2007:33-67. doi:10.1007/978-1-4020-6133-2_3.
 100. Getachew G, Blummel M, Makkar HPS, Becker K. In vitro gas measuring techniques for assessment of nutritional quality of feeds: a review. *Anim Feed Sci Technol*. 1998;72:261-281. doi:10.1016/S0377-8401(97)00189-2.
 101. Gomez Guajala JC. El calentamiento global en el ecuador y el mundo y cómo influye el gobierno ecuatoriano en defensa del medio ambiente. Machala, Ecuador.; 2015. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/3666>.

102. Altamirano R. T. Calentamiento Global Y Sus Impactos En La Región Central Del Perú. Lima, Perú; 2013.
http://www.desco.org.pe/recursos/site/files/CONTENIDO/26/08_Altamirano_PHdic14.pdf.
103. Tirado Blázquez MC. Cambio climático y salud. Informe SESPAS 2010. Gac Sanit. 2010;24(SUPPL. 1):78-84. doi:10.1016/j.gaceta.2010.10.004.
104. Manuel OZ, Rosa CM, Zuzel OP, Jorge Luis OM. Variabilidad y cambio climáticos: su repercusión en la salud. MEDISAN. 2015;19(7):873-885.
http://eds.b.ebscohost.com/eds/detail/detail?sid=daeffc66-158e-4e3b-89fb-48eae1308190%40sessionmgr104&vid=0&hid=113&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGI2ZQ%3D%3D#AN=108519820&db=lth%5Cnhttp://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1029-301920150007.
105. Salud OM de la. Cambio climático y salud. Centro de prensa. www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/cambio-climatico-y-salud.
Published 2018.
106. Gonzales GF, Zevallos A, Gonzales-Castañeda C, et al. Contaminación ambiental, variabilidad climática y cambio climático: una revisión del impacto en la salud de la población peruana. Rev Peru Med Exp Salud Publica. 2014;31(3):547-556.
<http://www.rpmesp.ins.gob.pe/index.php/rpmesp/article/view/94/94>.
107. PRTR España. CH4 Metano. Registro estatal de emisiones y fuentes contaminantes.

108. Manuel Vázquez Romero. Consecuencias del cambio climático en la salud de la población mundial. España; 2004.
109. CONAM-Perú. Información Estadística: Emisiones Nacionales de Gases de Efecto Invernadero 2003-2004. Lima, Perú; 2005.
110. Daniel Barco PV. El cambio climático y sus efectos en el Perú. 2009:5.
111. OMS, OMM P. Cambio Climático Y Salud Humana - Riesgos Y Respuestas. Ginebra; 2003.
112. OMS. Cambio Climático Y Salud. Ginebra, Suiza; 2018.
www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/cambio-climático-y-salud.
113. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú-Puno. Información del tiempo y clima. <http://senamhi.gob.pe/?p=pronostico-detalle&localidad=0030>. Published 2016.
114. Goopy JP, Woodgate R, Donaldson A, Robinson DL, Hegarty RS. Validation of a short-term methane measurement using portable static chambers to estimate daily methane production in sheep. Anim Feed Sci Technol. 2011;166-167:219-226. doi:10.1016/j.anifeedsci.2011.04.012.
115. Gasmeter Technologies Oy. Instruction and Operating Manual Version E1.18 (5.12.2012). Finland; 2012. www.gasmet.fi.
116. Van Dyne GM, Torell DTCN-1220. Development and use of the esophageal fistula: a review. J Range Manag. 1964;17(1):7-19.
117. Booyse DG, Harmse G, Boomker EA. Construction and insertion of oesophageal cannulae for use in domestic ruminants. J S Afr Vet Assoc.

- 2009;80(4):270-273. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20458872>.
118. Yiakoulaki MD, Nastis AS. A modified faecal harness for grazing goats on Mediterranean shrublands. *J Range Manag.* 1998;51(5):545-546.
119. Van Dyne GM, Heady HFCN-1224. Botanical composition of sheep and cattle diets on a mature annual range. *Hilgardia.* 1965;36:465-492.
120. Heinrichs AJ, Buckmaster DR, Lammers BP. Processing, mixing, and particle size reduction of forages for dairy cattle. *J Anim Sci.* 1999;77(1):180-186.
121. Garrett, W.N., Meyer, J., and Lofgreen G. The Comparative Energy Requirements of Sheep and Cattle for Maintenance and Gain. *J Anim Sci.* 1959;(2). <https://academic.oup.com/jas/article/18/2/528/4739876>.
122. Bernardo Roque Huanca. Determinación de los requerimientos energéticos de mantenimiento y ganancia de peso de alpacas (Vicugna pacos) en crecimiento, mediante la técnica de sacrificio comparativo. *La Molina-Gaceta Molinera.*
123. Brouček J, Brouček J. Methods of methane measurement in ruminants. *Slovak J Anim Sci.* 2014;47(1):51-60.
124. Jaynes DB, Rogowski AS. Applicability of Fick's law to gas diffusion. *Soil Sci Soc Am J.* 1983;47(3):425-430. doi:10.2136/sssaj1983.03615995004700030007x.
125. Cowie M, Watts H. Diffusion of Methane and Chloromethanes in Air. *Can J Chem.* 1971;49(1):74-77. doi:10.1139/v71-011.

126. Williams YJ, Klein L, Wright ADG. A protocol for the operation of open-circuit chambers for measuring methane output in sheep. In: Measuring Methane Production from Ruminants. ; 2007:111-123. doi:10.1007/978-1-4020-6133-2_7.
127. Beychok MR. Fundamentals of stack gas dispersion. AGRIS: International Information System for the Agricultural Science and Technology.
128. Paputungan U, Hakim L, Ciptadi G, Lopian HFN. Application of body volume formula for predicting live weight in Ongole crossbred cows. AcademicJournals. 2015. doi:2141-2448.
129. Appeddu, Lisa and Bodine T. Effect of soil addition to feces on acid detergent insoluble ash. J Anim Sci. 2002.
130. Van Keulen J, Young BA. Evaluation of Acid-Insoluble Ash as a Natural Marker in Ruminant Digestibility Studies. J Anim Sci. 1977;44(2):282-287. doi:10.2134/jas1977.442282x.
131. Cordova AFJ, Wallace JD, Pieper RD. Forage Intake by Grazing Livestock : J Range Manag. 1978;31(6):430-438. doi:10.2307/3897201.
132. Cochran RC, Adams DC, Wallace JD, Galyean ML. Predicting Digestibility of Different Diets with Internal Markers: Evaluation of Four Potential Markers. J Anim Sci. 1986;63(5):1476-1483. doi:10.2527/jas1986.6351476x.
133. Sales J. A review on the use of indigestible dietary markers to determine total tract apparent digestibility of nutrients in horses. Anim Feed Sci Technol. 2012;174(3-4):119-130. doi:10.1016/j.anifeedsci.2012.03.005.

134. Kanani J, Philipp D, Coffey KP, et al. Diurnal variation in fecal concentrations of acid-detergent insoluble ash and alkaline-peroxide lignin from cattle fed bermudagrass hays of varying nutrient content. *J Anim Sci Biotechnol.* 2015;6(1). doi:10.1186/s40104-015-0024-1.
135. Holter JB, Young AJ. Methane Prediction in Dry and Lactating Holstein Cows. *J Dairy Sci.* 1992;75(8):2165-2175. doi:10.3168/jds.S0022-0302(92)77976-4.
136. Dini Vilar, Y. Emisión de metano entérico de vacas lecheras en pastoreo de praderas dominadas por gramíneas o por leguminosas. 2012.
137. Jouany JP. Manipulation of microbial activity in the rumen. *Arch Tierernahr.* 1994;46(2):133-153. doi:10.1080/17450399409381766.
138. Church, D. C.; Pond WG. Bases Científicas Para La Nutrición Y Alimentación de Los Animales Domésticos. (Acribia, ed.). Zaragoza, España; 1977.
139. Nelson Clavo; Hipólito Perez Cubas. Consumo y nutrición comparativa entre alpacas y llamas en pasturas mejoradas durante la época seca. 1985:12.
http://sisbib.unmsm.edu.pe/BVRevistas/rcs/n06_1988/pdf/a07.pdf.
140. Mayta Mamani JC. Selectividad, consumo y composición química de dieta de alpacas pastoreadas en bofedales de las comunidades de Nuñoa. 2005.
http://biblioteca.unap.edu.pe/biblioteca/opac_css/index.php?lvl=more_results&autolevel1=1.

141. Loayza Coila DD. Valor nutricional de la asociación trebol rye grass en alpacas Suri y Huacaya en estabulación. 2006. http://biblioteca.unap.edu.pe/biblioteca/opac_css.
142. Ravillet, V.; Rosales, A.; Clavo Frontado, N.; Acuña H. Evaluación nutritiva de pasturas naturales mejoradas con gramíneas y leguminosas para la alimentación de camélidos. In: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima (Perú); Instituto Veterinario de Investigaciones Tropicales Y de Altura-IVITA, Lima (Perú). Centro de Investigación; Universidad Nacional San Antonio Abad Del Cuzco, Cuzco (Perú). Facultad de Agronomía Y Zoot. Cusco, Perú; 1985:1.
143. Miguel Angel Estrada. Comparación de coeficientes de digestibilidad aparente y balance del nitrógeno en llamas (*Lama glama*) y ovino (*Ovis aries*) criados en la región andina del altiplano boliviano. 2009.
144. Martin HFS. Comparative Forage Selectivity and Nutrition of South American Camelids, and Sheep. 1989. <https://elibrary.ru/item.asp?id=7540786>.
145. Instituto de Investigación en Ciencia Animal y Tecnología (IICAT). Composición de la ingesta seleccionada por Llamas (*Lama glama*, Linnaeus 1758) de la Provincia José Manuel Pando, Municipio Santiago De Machaca. *J Selva Andin Anim Sci*. 2015:1.
146. Cauna Quiroz R. Composición Botánica y Calidad de la Dieta de Alpacas (*Lama pacos*) y Llamas (*Lama lama*) al Pastoreo en el Centro Experimental de la Raya Puno. 1999. http://biblioteca.unap.edu.pe/biblioteca/opac_css.

147. Barriga Ramos D. Composición química y hábitos de consumo del alimento al pastoreo en alpacas del CIP La Raya. 2009.
http://biblioteca.unap.edu.pe/biblioteca/opac_css.
148. Bustinza Choque V. La Alpaca. Conocimiento Del Gran Potencial Andino. 1st ed. (Oficina de recursos del aprendizaje. Sección publicaciones, UNA P, ed.). Puno, Perú; 2001.



ANEXOS

Anexo 1. Selectividad de especies vegetales en alpacas y llamas al pastoreo

Cuadro 12. Selectividad de pastos en alpaca macho.

Spp. Día	<i>Festuca dolichophylla</i>	<i>Calamagrostis spp</i>	<i>Bromus unioides</i>	<i>Hipochoeris taraxacoides</i>	<i>Eleocharis albibracteata</i>	<i>Alchemilla pinnata</i>	Otros
Día 1	34	11	17	28	4	4	2
Día 2	28	45	12	9	5	0	1
Día 3	31	35	20	4	9	0	1
\bar{X}	31.0	30.3	16.3	13.7	6.0	1.3	1.3
DS	3.0	17.5	4.0	12.7	2.6	2.3	0.6
CV	9.7	57.6	24.7	92.7	44.1	173.2	43.3

Cuadro 13. Selectividad de pastos en alpaca hembra.

Spp. Día	<i>Bromus unioides</i>	<i>Festuca dolichophylla</i>	<i>Calamagrostis spp</i>	<i>Hipochoeris taraxacoides</i>	<i>Eleocharis albibracteata</i>	<i>Alchemilla pinnata</i>	Otros
Día 1	9	21	23	37	6	3	1
Día 2	16	26	23	6	22	5	2
Día 3	40	12	13	11	16	3	5
\bar{X}	21.7	19.7	19.7	18.0	14.7	3.7	2.7
DS	16.3	7.1	5.8	16.6	8.1	1.2	2.1
CV	75.0	36.1	29.4	92.5	55.1	31.5	78.1

Cuadro 14. Selectividad de pastos en llamas machos.

Especie Día	<i>Festuca dolichophylla</i>	<i>Calamagrostis spp</i>	<i>Eleocharis albibracteata</i>	<i>Bromus unioides</i>	<i>Hipochoeris taraxacoides</i>	Otros
Día 1	44	41	9	3	3	0
Día 2	39	48	10	1	1	1
Día 3	43	35	15	6	1	0
\bar{X}	42.0	41.3	11.3	3.3	1.7	0.3
DS	2.6	6.5	3.2	2.5	1.2	0.6
CV	6.3	15.7	28.4	75.5	69.3	173.2

Cuadro 15. Selectividad de pastos en llamas hembras.

Especie Día	<i>Calamagrostis spp</i>	<i>Festuca dolichophylla</i>	<i>Eleocharis albibracteata</i>	<i>Bromus unioides</i>	<i>Mulembergia fastigiata</i>	<i>Hipochoeris taraxacoides</i>
Día 1	57	40	2	1	0	0
Día 2	33	30	9	20	6	2
Día 3	55	35	8	1	0	1
\bar{X}	48	35	6	7	2	1
DS	13.3	5.0	3.8	11.0	3.5	1.0
CV	27.6	14.3	59.8	149.6	173.2	100.0

Anexo 2. Materia seca en alimento consumido al pastoreo

Cuadro 16. Materia seca en dieta de alpacas machos.

Animal	Peso MF (g)	Peso MS (g)	% MS	% H°	Peso heces frescas total	MS total (g)
1	150	46.54	31.03	68.97	3579.10	1110.55
2	150	46.00	30.67	69.33	4557.10	1397.48
3	150	43.61	29.07	70.93	3689.30	1072.61
4	150	42.56	28.37	71.63	5593.80	1587.03
\bar{x}	150.0	44.06	29.37	70.63	4613.40	1352.37
DS	0.00	1.76	1.18	1.18	953.50	260.16
CV	0.00	4.00	4.00	1.66	20.67	19.24

Cuadro 17. Materia seca en dieta de alpacas hembras.

Animal	Peso MF (g)	Peso MS (g)	% MS	% H°	Peso heces frescas total	MS total (g)
1	150	62.57	41.71	58.29	2100.90	876.30
2	150	53.98	35.99	64.01	2301.00	828.03
3	150	54.67	36.45	63.55	1827.10	665.94
4	150	69.57	46.38	53.62	2194.80	1017.93
\bar{x}	150.0	59.41	39.60	60.40	2107.63	837.30
DS	0.00	8.81	5.87	5.87	248.68	176.18
CV	0.00	14.83	14.83	9.72	11.80	21.04

Cuadro 18. Materia seca en dieta de llamas machos.

Animal	Peso materia fresca (g)	Peso materia seca (g)	% MS	% H°	Peso heces frescas total	Materia seca total (g)
1	150	45.82	30.54	69.46	6480.10	1979.27
2	150	50.02	33.34	66.66	4600.80	1534.11
3	150	55.44	36.96	63.04	6260.10	2313.68
4	150	44.17	29.45	70.55	6109.90	1799.36
\bar{x}	150.00	49.88	33.25	66.75	5656.93	1882.38
DS	0.00	5.63	3.76	3.76	917.72	396.36
CV	0.00	11.29	11.29	5.63	16.22	21.06

Cuadro 19. Materia seca en dieta de llamas hembras.

Animal	Peso materia fresca (g)	Peso materia seca (g)	% MS	% H°	Peso heces frescas total	Materia seca total (g)
1	150	67.37	44.91	55.09	2626.00	1179.45
2	150	70.24	46.83	53.17	2802.30	1312.26
3	150	66.07	44.05	55.95	2522.40	1111.00
4	150	61.63	41.09	58.91	2733.00	1122.86
\bar{x}	150.00	65.98	43.99	56.01	2685.90	1182.04
DS	0.00	4.31	2.87	2.87	145.77	112.93
CV	0.00	6.53	6.53	5.13	5.43	9.55

Anexo 3. Materia seca en heces, CIA y CH₄ en CSA al pastoreo

Cuadro 20. Materia seca en heces de alpacas machos.

Alpaca	Peso	IMS	FDN bolo	CIA bolo	EMF	H°	EMS	FDN heces	CIA heces	DMS
N°	Kg	g/d	%	%	g/d	%	g/d	%	%	%
1	55.8	1087.5	67.1	3.1	1193.0	69.0	370.2	53.6	9.3	66.0
2	58.6	1530.9	67.1	3.1	1519.0	69.3	465.8	49.5	10.4	69.6
3	62.2	1098.2	67.1	3.1	1229.8	70.9	357.5	53.2	9.7	67.5
4	64.6	1565.7	67.1	3.1	1864.6	71.6	529.0	58.3	9.3	66.3
\bar{x}	60.3	1320.6	67.1	3.2	1451.6	70.2	430.6	52.1	9.7	67.3
DS	3.9	263.4	0.0	0.0	311.5	1.3	81.5	2.3	0.5	1.6
CV	6.4	19.9	0.0	0.0	21.5	1.8	18.9	4.4	5.2	2.4

Cuadro 21. Materia seca en heces de alpacas hembras.

Alpaca	Peso	IMS	FDN bolo	CIA bolo	EMF	H°	EMS	FDN heces	CIA heces	DMS
N°	Kg	g/d	%	%	g/d	%	g/d	%	%	%
1	42.4	981.7	66.70	3.39	714.3	58.3	297.9	48.75	11.2	69.7
2	50.6	823.0	66.70	3.39	767.0	64.0	276.0	44.28	10.1	66.5
3	51.4	734.6	66.70	3.39	609.0	63.6	222.0	46.37	11.2	69.8
4	53.0	1094.5	66.70	3.39	731.6	53.6	339.3	45.13	10.9	69.0
\bar{x}	49.4	880.1	66.70	3.4	705.5	59.9	283.8	46.47	10.9	68.7
DS	4.7	143.4	0.0	0.0	67.9	4.9	48.9	2.24	0.5	1.5
CV	9.6	16.3	0.0	0.0	9.6	8.2	17.2	4.81	4.7	2.2

Cuadro 22. Materia seca en heces de llamas machos.

Llama	Peso	IMS	CIA bolo	FDN bolo	EMF	H°	EMS	CIA heces	FDN heces	DMS
N°	Kg	g/d	%	%	g/d	%	g/d	%	%	%
1	128.8	1971.7	3.6	70.6	2160.0	69.5	659.8	10.7	55.4	66.6
2	108.4	1455.3	3.6	70.6	1533.6	66.7	511.4	10.1	56.2	64.9
3	121.4	2205.4	3.6	70.6	2086.7	63.0	771.2	10.2	57.2	65.1
4	99.6	1721.7	3.6	70.6	2036.6	70.6	599.8	10.2	54.0	65.2
\bar{x}	114.6	1838.5	3.6	70.6	1954.2	67.4	635.5	10.3	55.7	65.4
DS	13.1	322.9	0.0	0.0	285.0	3.4	109.1	0.2	1.4	0.8
CV	11.4	17.6	0.0	0.0	14.6	5.0	17.2	2.3	2.5	1.2

Cuadro 23. Materia seca en heces de llamas hembras.

Llama	Peso	IMS	CIA bolo	FDN bolo	EMF	H°	EMS	CIA heces	FDN heces	DMS
N°	Kg	g/d	%	%	g/d	%	g/d	%	%	%
1	85.0	968.5	4.7	72.5	875.3	55.1	393.2	11.5	49.7	59.5
2	99.0	1094.1	4.7	72.5	934.1	53.2	437.4	11.7	52.7	60.1
3	89.9	974.3	4.7	72.5	840.8	56.0	370.3	12.3	52.4	62.1
4	86.6	901.7	4.7	72.5	911.0	58.9	374.3	11.3	55.5	58.6
\bar{x}	90.1	984.6	4.7	72.5	890.3	55.8	393.8	11.7	52.6	60.0
DS	6.3	80.1	0.0	0.0	40.9	2.4	30.7	0.4	2.3	1.5
CV	6.9	8.1	0.0	0.0	4.6	4.3	7.8	3.8	4.5	2.5

Cuadro 24. Peso de heces en alpacas machos.

Animal	1			2			3			4		
	Mañana	Tarde	Total									
1	647.2	660.2	1307.4	889.7	699.0	1588.7	585.4	540.4	1125.8	857.6	972.9	1830.5
2	578.5	586.6	1165.1	444.3	962.5	1406.8	721.6	606.2	1327.8	964.7	1072.9	2037.6
3	428.0	678.6	1106.6	543.7	1017.9	1561.6	653.4	582.3	1235.7	816.4	909.3	1725.7
\bar{x}	551.23	641.80	1193.03	625.90	893.13	1519.03	653.47	576.30	1229.77	879.57	985.03	1864.60
DS	112.11	48.68	103.27	233.80	170.39	98.14	68.10	33.31	101.13	76.55	82.47	158.72
CV	20.34	7.59	8.66	37.35	19.08	6.46	10.42	5.78	8.22	8.70	8.37	8.51

Cuadro 25. Peso de heces en alpacas hembras.

Animal	1			2			3			4		
	Mañana	Tarde	Total									
1	264.7	455.3	720.0	296.4	546.0	842.4	245.6	295.9	541.5	289.4	449.0	738.4
2	267.1	477.7	744.8	280.3	434.4	714.7	255.7	411.1	666.8	279.0	459.9	738.9
3	214.0	464.1	678.1	287.3	456.6	743.9	232.5	386.3	618.8	246.5	471.0	717.5
\bar{x}	248.60	465.70	714.30	288.00	479.00	767.00	244.60	364.43	609.03	271.63	459.97	731.60
DS	29.99	11.29	33.71	8.07	59.08	66.91	11.63	60.63	63.22	22.38	11.00	12.21
CV	12.06	2.42	4.72	2.80	12.33	8.72	4.76	16.64	10.38	8.24	2.39	1.67

Cuadro 26. Ceniza insoluble en dieta de alpacas machos.

Día	Peso antes de incinerar		crisol + muestra	Peso después de incinerar	MS - ceniza	Peso 2da incineración	Peso ceniza final	promedio	CIA%	promedio
	P. crisol	P. muestra		crisol + muestra						
1	19.203	5.0001	24.2031	19.7001	4.503	19.34	0.14	0.16	3.2	2.72
2	30.0539	5.0009	35.0548	30.6199	4.4349	30.23	0.18			3.54
3	30.5417	5.0003	35.542	31.001	4.541	30.70	0.16			3.21
\bar{x}	26.6	5.0	31.6	27.1	4.5	26.8	0.2	0.2	3.2	3.2
DS	6.4	0.0	6.4	6.4	0.1	6.4	0.0		0.4	
CV	24.1	0.0	20.3	23.7	1.2	24.0	13.1		13.1	

Cuadro 27. Ceniza insoluble en dieta de alpaca hembra.

Día	Peso antes de incinerar		crisol + muestra	Peso después de incinerar	MS - ceniza	Peso 2da incineración	Peso ceniza final	promedio	CIA%	promedio
	P. crisol	P. muestra		crisol + muestra						
1	37.8033	5.0002	42.8035	38.281	4.5225	38.03	0.23	0.17	4.54	3.39
2	37.2878	5.0004	42.2882	37.7591	4.5291	37.39	0.11		2.13	
3	28.7631	5.0006	33.7637	29.206	4.5577	28.94	0.18		3.51	
\bar{x}	34.6	5.0	39.6	35.1	4.5	34.8	0.2	0.2	3.4	3.4
DS	5.1	0.0	5.1	5.1	0.0	5.1	0.1		1.2	
CV	14.7	0.0	12.8	14.5	0.4	14.6	35.5		35.5	

Cuadro 28. Ceniza insoluble en heces de alpacas machos.

Animal	Peso antes de incinerar		crisol + muestra	Peso después de incinerar	MS - ceniza	Peso papel filtro	peso papel + ceniza insoluble	Peso ceniza final	CIA%	I. dieta/ I. heces	DMS %	MS heces	IMS
	P. crisol	P. muestra		crisol + muestra								g/d	g/d
♂ 1	34.602	5.0008	39.6028	35.37	4.23	0.77	1.23	0.46	9.26	0.34	65.96	370.18	1087.47
♂ 2	30.0505	5.0007	35.0512	30.89	4.16	0.77	1.29	0.52	10.36	0.30	69.57	465.83	1530.92
♂ 3	38.985	5.0004	43.9854	39.80	4.18	0.80	1.28	0.48	9.69	0.33	67.44	357.54	1098.25
♂ 4	28.7619	5.0012	33.7631	29.45	4.31	0.78	1.25	0.47	9.33	0.34	66.21	529.01	1565.67
\bar{x}	33.1	5.0	38.1	33.9	4.2	0.8	1.3	0.5	9.7	0.3	67.3	430.6	1320.6
DS	4.7	0.0	4.7	4.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	1.6	81.5	263.4
CV	14.1	0.0	12.2	13.8	1.6	1.8	2.2	5.2	5.2	5.0	2.5	18.9	19.9

Cuadro 29. Ceniza insoluble en heces de alpacas hembras.

Animal	Peso antes de incinerar		crisol + muestra	Peso después de incinerar	MS - ceniza	Peso papel filtro	peso papel + ceniza insoluble	Peso ceniza final	CIA%	I. dieta/ I. heces	DMS %	MS heces	IMS
	P. crisol	P. muestra		crisol + muestra								g/d	g/d
♀ 1	30.5453	5.0007	35.546	31.49	4.06	0.78	1.34	0.56	11.178	0.30	69.65	297.94	981.75
♀ 2	37.3945	5.0012	42.3957	38.32	4.08	0.77	1.27	0.51	10.12	0.34	66.46	276.01	823.01
♀ 3	31.8112	5.0004	36.8116	32.80	4.02	0.79	1.35	0.56	11.23	0.30	69.78	221.98	734.64
♀ 4	37.8031	5.0015	42.8046	38.48	4.32	0.77	1.32	0.55	10.94	0.31	69.00	339.31	1094.49
\bar{x}	34.4	5.0	39.4	35.3	4.1	0.8	1.3	0.5	10.9	0.3	68.7	283.8	908.5
DS	3.7	0.0	3.7	3.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	1.5	48.9	160.7
CV	10.9	0.0	9.5	10.4	3.4	1.4	2.6	4.7	4.7	4.9	2.2	17.2	17.7

Cuadro 30. Peso de heces en llamas machos.

Animal Día	1			2			3			4		
	Mañana	Tarde	Total	Mañana	Tarde	Total	Mañana	Tarde	Total	Mañana	Tarde	Total
1	1123.5	1218.4	2341.9	492.1	660.7	1152.8	728.5	1115.7	1844.2	1101.8	1254.3	2356.1
2	721	1277.3	1998.3	664.2	890.9	1555.1	973.1	1162.4	2135.5	813.1	1089.6	1902.7
3	847.3	1292.6	2139.9	790.1	1102.8	1892.9	990.0	1290.4	2280.4	962.2	888.9	1851.1
\bar{x}	897.27	1262.77	2160.03	648.80	884.80	1533.60	897.20	1189.50	2086.70	959.03	1077.60	2036.63
DS	205.85	39.18	172.68	149.60	221.11	370.52	146.34	90.45	222.16	144.38	183.00	277.87
CV	22.94	3.10	7.99	23.06	24.99	24.16	16.31	7.60	10.65	15.05	16.98	13.64

Cuadro 31. Peso de heces en llamas hembras.

Animal Día	1			2			3			4		
	Mañana	Tarde	Total									
1	484.5	358.5	843.0	399.4	587.6	987.0	458.1	373.6	831.7	322.7	440.1	762.8
2	563.6	309.1	872.7	491.4	502.2	993.6	581.6	354.4	936.0	438.9	517.8	956.7
3	529.9	380.4	910.3	350.1	471.6	821.7	392.2	362.5	754.7	419.4	594.1	1013.5
\bar{x}	526.00	349.33	875.33	413.63	520.47	934.10	477.30	363.50	840.80	393.67	517.33	911.00
DS	39.69	36.52	33.73	71.72	60.12	97.40	96.15	9.64	90.99	62.23	77.00	131.45
CV	7.55	10.46	3.85	17.34	11.55	10.43	20.14	2.65	10.82	15.81	14.88	14.43

Cuadro 32. Producción de metano en alpacas machos.

Animal	Peso vivo Kg	\bar{x} ppm	CH ₄ ,mg/m ³	mg/m ³ Base seca	mg/20 min	CH ₄ mg/d	g/d	moles/d	Vol. litros/d	L/AÑO
1	55.8	27.85	11.41	24.47	237.78	17120.14	17.12	1.07	41.80	15256.79
2	58.6	32.22	13.20	28.33	275.20	19814.65	19.81	1.24	48.38	17658.32
3	62.2	31.47	12.89	27.71	269.01	19368.42	19.37	1.21	47.30	17264.03
4	64.6	29.63	12.14	26.01	252.52	18181.21	18.18	1.13	44.39	16201.73
\bar{x}	60.300	30.29	12.41	26.63	258.63	18621.11	18.62	1.16	45.47	16595.22
DS	3.883	1.96	0.80	1.74	16.88	1215.10	1.22	0.08	2.97	1083.78
CV	6.440	6.46	6.46	6.54	6.53	6.53	6.53	6.53	6.53	6.53

Cuadro 33. Producción de metano en alpacas hembras.

Animal	Peso vivo Kg	\bar{x} ppm	CH ₄ ,mg/m ³	mg/m ³ Base seca	mg/20 min	CH ₄ mg/d	g/d	moles/d	Vol. litros/d	L/AÑO
1	42.4	27.63	11.32	24.43	237.78	17120.47	17.12	1.07	41.81	15260.23
2	50.6	25.43	10.42	22.58	219.57	15808.98	15.81	0.99	38.60	14090.62
3	51.4	23.55	9.64	20.87	202.92	14609.92	14.61	0.91	35.68	13021.30
4	53	31.43	12.87	27.92	271.39	19540.32	19.54	1.22	47.71	17415.40
\bar{x}	49.350	27.01	11.06	23.95	232.92	16769.92	16.77	1.05	40.95	14946.89
DS	4.740	3.39	1.39	3.02	29.34	2112.43	2.11	0.13	5.16	1882.62
CV	9.604	12.54	12.54	12.60	12.60	12.60	12.60	12.60	12.60	12.60

Cuadro 34. Ceniza insoluble en dieta de llama macho.

Día	Peso antes de incinerar		crisol + muestra	Peso después de incinerar	MS - ceniza	Peso 2da incineración	Peso ceniza final	promedio	CIA%	promedio
	P. crisol	P. muestra		crisol + muestra						
1	34.602	5.0006	39.6026	35.0377	4.5649	34.7905	0.1885	0.178	3.770	3.564
2	37.3928	5.0006	42.3934	37.8482	4.5452	37.5777	0.1849			
3	38.9991	5.0001	43.9992	39.4429	4.5563	39.1604	0.1613			
\bar{x}	37.0	5.0	42.0	37.4	4.6	37.2	0.2	0.2	3.6	3.6
DS	2.2	0.0	2.2	2.2	0.0	2.2	0.0		0.3	
CV	6.0	0.0	5.3	6.0	0.2	6.0	8.3		8.3	

Cuadro 35. Ceniza insoluble en dieta de llama hembras.

Día	Peso antes de incinerar		crisol + muestra	Peso después de incinerar	MS - ceniza	Peso 2da incineración	Peso ceniza final	promedio	CIA%	promedio
	P. crisol	P. muestra		crisol + muestra						
1	31.8126	5.0001	36.8127	32.3065	4.5062	32.0536	0.241	0.234	4.820	4.688
2	19.6077	5.0005	24.6082	20.0526	4.5556	19.7928	0.1851			
3	18.3021	5.0002	23.3023	18.7286	4.5737	18.5793	0.2772			
\bar{x}	23.2	5.0	28.2	23.7	4.5	23.5	0.2	0.2	4.7	4.7
DS	7.5	0.0	7.5	7.5	0.0	7.5	0.0		0.9	
CV	32.1	0.0	26.4	31.6	0.8	31.8	19.8		19.8	

Cuadro 36. Ceniza insoluble en heces de llamas machos.

Animal	Peso antes de incinerar		crisol + muestra	Peso después de incinerar	MS - ceniza	Peso papel filtro	peso papel + ceniza insoluble	Peso ceniza final	CIA%	I. dieta/ I. heces	DMS %	MS heces	IMS
	P. crisol	P. muestra		crisol + muestra								g/d	g/d
♂ 1	31.8115	5.0019	36.8134	32.5948	4.2186	0.755	1.288	0.5328	10.652	0.33	66.54	659.76	1971.67
♂ 2	37.3933	5.0022	42.3955	38.1235	4.272	0.751	1.259	0.5074	10.144	0.35	64.86	511.37	1455.27
♂ 3	30.5472	5.0007	35.5479	31.2597	4.2882	0.755	1.265	0.5097	10.193	0.35	65.03	771.23	2205.39
♂ 4	38.9984	5.0012	43.9996	39.7445	4.2551	0.774	1.286	0.5117	10.232	0.35	65.16	599.79	1721.70
\bar{x}	34.7	5.0	39.7	35.4	4.3	0.8	1.3	0.5	10.3	0.3	65.4	635.5	1838.5
DS	4.1	0.0	4.1	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.8	109.1	322.9
CV	11.9	0.0	10.4	11.7	0.7	1.4	1.2	2.3	2.3	2.2	1.2	17.2	17.6

Cuadro 37. Ceniza insoluble en heces de llamas hembras.

Animal	Peso antes de incinerar		crisol + muestra	Peso después de incinerar	MS - ceniza	Peso papel filtro	peso papel + ceniza insoluble	Peso ceniza final	CIA%	I. dieta/ I. heces	DMS %	MS heces	IMS
	P. crisol	P. muestra		crisol + muestra								g/d	g/d
♀ 1	37.2918	5.0003	42.2921	38.115	4.1771	0.712	1.290	0.5775	11.549	0.406	59.41	393.15	968.47
♀ 2	34.6059	5.0011	39.607	35.3454	4.2616	0.701	1.288	0.5865	11.727	0.400	60.02	437.42	1094.14
♀ 3	37.8052	5.0007	42.8059	38.6058	4.2001	0.762	1.379	0.6168	12.334	0.380	61.99	370.33	974.27
♀ 4	28.7653	5.0007	33.766	29.4806	4.2854	0.725	1.290	0.5648	11.294	0.415	58.49	374.29	901.65
\bar{x}	34.6	5.0	39.6	35.4	4.2	0.7	1.3	0.6	11.7	0.4	60.0	393.8	984.6
DS	4.1	0.0	4.1	4.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	1.5	30.7	80.1
CV	12.0	0.0	10.5	11.8	1.2	3.6	3.4	3.8	3.8	3.7	2.5	7.8	8.1

Cuadro 38. Producción de metano en llamas machos.

Animal	Peso vivo Kg	\bar{x} ppm	CH ₄ , mg/m ³	mg/m ³ Base seca	mg/20 min	CH ₄ mg/d	g/d	moles/d	Vol. litros/d	L/AÑO
1	128.8	58.12	23.81	54.24	522.72	37635.63	37.64	2.35	91.85	33523.85
2	108.4	53.77	22.01	49.95	482.49	34739.33	34.74	2.17	84.82	30960.30
3	121.4	63.13	25.86	58.81	567.21	40839.41	40.84	2.55	99.68	36382.54
4	99.6	60.68	24.86	56.60	547.20	39398.67	39.40	2.46	96.15	35093.43
\bar{x}	114.550	58.93	24.14	54.90	529.91	38153.26	38.15	2.38	93.12	33990.03
DS	13.055	4.00	1.64	3.79	36.47	2626.11	2.63	0.16	6.39	2333.68
CV	11.397	6.79	6.81	6.90	6.88	6.88	6.88	6.88	6.87	6.87

Cuadro 39. Producción de metano en llamas hembras.

Animal	Peso vivo Kg	\bar{x} ppm	CH ₄ ,mg/m ³	mg/m ³ Base seca	mg/20 min	CH ₄ mg/d	g/d	moles/d	Vol. litros/d	L/AÑO
1	85	49.18	20.16	47.36	458.72	33027.65	33.03	2.06	80.55	29400.58
2	99	57.77	23.68	55.65	538.15	38747.01	38.75	2.42	94.52	34499.01
3	89.9	48.03	19.70	46.41	449.27	32347.65	32.35	2.02	78.84	28776.77
4	86.6	48.50	19.88	46.65	451.81	32530.50	32.53	2.03	79.33	28954.71
\bar{x}	90.125	50.87	20.86	49.02	474.49	34163.20	34.16	2.13	83.31	30407.76
DS	6.259	4.62	1.89	4.44	42.63	3069.35	3.07	0.19	7.51	2740.08
CV	6.944	9.08	9.06	9.06	8.98	8.98	8.98	8.98	9.01	9.01

Anexo 4. Producción de metano en camélidos en confinamiento

Cuadro 40. Producción de metano en alpacas a distintos niveles de consumo.

Variable	Mantenimiento	Intermedio bajo	Intermedio alto	Ad livintum	Prom general
PV	59.5±3.7	60.9±4.3	62.2±4.2	62.2±3.7	61.2±3.8
Ppm	33.3±5.4	44.4±7.8	45.1±5.5	45.9±6.4	42.1±7.8
mg/20	233.2±37.9	311.3±54.9	219.3±69.1	321.4±44.9	271.3±66.7
mg/d	16793.2±2726.5	22410.5±3952.6	15792.2±4973.8	23140.5±3234.8	19534.1±4802.5
g/d	16.8±2.7	22.4±4.0	15.8±5.0	23.1±3.2	19.5±4.8
Mol/d	1.0±0.2	1.4±0.2	1.0±0.3	1.4±0.2	1.2±0.3
L/d	40.2±6.5	53.6±9.4	37.8±11.9	55.4±7.7	46.7±11.5
L/W ^{0.75}	1.9	2.4	1.7	2.5	2.1±0.5

Cuadro 41. Producción de metano en llamas a distintos niveles de consumo.

Variable	Mantenimiento	Intermedio bajo	Intermedio alto	Ad livintum	Prom general
PV	100.0±13.2	101.5±15.3	104.2±9.4	103.5±12.5	102.3±12.3
Ppm	53.7±4.1	60.2±6.9	68.2±9.4	77.8±9.9	65.0±11.7
mg/20	373.2±29.2	418.3±46.4	473.5±65.4	540.4±66.3	451.3±80.6
mg/d	26871.8±2102.6	30114.0±3339.0	34091.7±4710.1	38905.4±4772.2	32495.7±5804.1
g/d	26.9±2.1	30.1±3.3	34.1±4.7	38.9±4.8	32.5±5.8
Mol/d	1.7±0.1	1.9±0.2	2.1±0.3	2.4±0.3	2.0±0.4
L/d	64.5±4.9	72.4±8.2	81.9±11.2	93.5±11.8	78.1±14.0
L/W ^{0.75}	2.1	2.3	2.5	2.9	2.4±0.4

Cuadro 42. Producción de metano en alpacas: mantenimiento.

Etapa	Alpaca	Peso	T°	H° %	Concentración de CH ₄		V _C	V _A	Volumen real cámara m ³	Emisiones de CH ₄		
					N°	N°				Kg	C	H
1	1	57.8	3.23	47.250	35.4	25.0	10.00	0.07	9.93	17.9	1.1	42.8
2	2	58.6	3.65	46.250	32	22.6	10.00	0.07	9.93	16.2	1.0	38.6
3	3	65.0	4.13	40.500	39.2	27.6	10.00	0.07	9.93	19.8	1.2	47.3
4	4	56.7	3.53	41.250	26.4	18.7	10.00	0.06	9.94	13.3	0.8	31.9
	\bar{x}	59.5	3.6	43.8	33.3	23.5		0.1	9.9	16.8	1.0	40.2
	D.E.	3.7	0.4	3.4	5.4	3.8		0.0		2.7	0.2	6.5
	CV %	6.3	10.3	7.8	16.3	16.3		6.0		16.2	16.2	16.3

Cuadro 43. Producción de metano en alpacas: intermedio bajo.

Etapa	Alpaca	Peso	T°	H° %	Concentración de CH ₄		V _C	V _A	Volumen real cámara m ³	Emisiones de CH ₄		
					N°	N°				Kg	C	H
4	1	60.4	3.53	41.25	42.9	30.3	10.00	0.07	9.93	21.7	1.4	51.8
1	2	61.4	3.23	47.25	41.1	29.1	10.00	0.07	9.93	20.8	1.3	49.6
2	3	66.2	3.65	46.25	55.7	39.3	10.00	0.08	9.92	28.1	1.8	67.2
3	4	55.7	4.13	40.50	37.8	26.7	10.00	0.06	9.94	19.1	1.2	45.7
	\bar{x}	60.9	3.6	43.8	44.4	31.3	10.0	0.1	9.9	22.4	1.4	53.6
	D.E.	4.3	0.4	3.4	7.8	5.5		0.0		4.0	0.2	9.4
	CV. %	7.1	10.3	7.8	17.7	17.7		6.8		17.6	17.6	17.6

Cuadro 44. Producción de metano en alpacas: intermedio alto.

Etapa	Alpaca	Peso	T°	H° %	Concentración de CH ₄		V _C	V _A	Volumen real cámara m ³	Emisiones de CH ₄		
					N°	N°				Kg	C	H
3	1	60.6	4.13	40.50	45.3	31.9	10.00	0.07	9.93	22.8	1.4	54.7
4	2	61.6	3.53	41.25	39.2	16.4	10.00	0.07	9.93	11.7	0.7	28.0
1	3	68.2	3.8	43.75	43.4	18.1	10.00	0.08	9.92	13.0	0.8	31.0
2	4	58.4	3.65	46.25	52.3	21.9	10.00	0.07	9.93	15.6	1.0	37.4
	\bar{x}	62.2	3.8	42.9	45.1	22.1	10.0	0.1	9.9	15.8	1.0	37.8
	D.E.	4.2	0.3	2.6	5.5	7.0		0.0		5.0	0.3	11.9
	CV %	6.8	6.9	6.1	12.1	31.5		6.5		31.5	31.5	31.6

Cuadro 45. Producción de metano en alpacas: ad libitum.

Etapa	Alpaca	Peso	T°	H° %	Concentración de CH ₄		V _C	V _A	Volumen real cámara m ³	Emisiones de CH ₄		
					N°	N°				Kg	C	H
2	1	60.3	3.65	46.25	50.1	35.4	10.00	0.07	9.93	25.3	1.6	60.5
3	2	61.3	4.13	40.50	48.6	34.3	10.00	0.07	9.93	24.5	1.5	58.7
4	3	67.7	3.53	41.25	48.4	34.2	10.00	0.08	9.92	24.4	1.5	58.4
1	4	59.6	3.8	43.75	36.3	25.6	10.00	0.07	9.93	18.3	1.1	43.8
	\bar{x}	62.2	3.8	42.9	45.9	32.4	10.0	0.1	9.9	23.1	1.4	55.4
	D.E.	3.7	0.3	2.6	6.4	4.5		0.0		3.2	0.2	7.7
	CV %	6.0	6.9	6.1	14.0	14.0		5.8		14.0	14.0	14.0

Cuadro 46. Producción de metano en llamas: mantenimiento.

Etapa	Llama	Peso	Tº		Concentración de CH ₄		V _C	V _A	Volumen real cámara	Emisiones de CH ₄		
			C	H	(ppm)	CH ₄ mg/m ³				m ³	m ³	m ³
1	1	117.0	3.79	50.88	55.3	39.0	10.00	0.13	9.9	27.7	1.7	66.4
2	2	88.3	5.45	54.25	48.7	34.2	10.00	0.10	9.9	24.4	1.5	58.6
3	3	103.8	4.13	33.25	58.3	41.1	10.00	0.12	9.9	29.3	1.8	70.1
4	4	91.0	5.65	51.50	52.3	36.7	10.00	0.10	9.9	26.1	1.6	62.9
	̄x	100.0	4.8	47.5	53.7	37.7	10.0	0.1	9.9	26.9	1.7	64.5
	D.E.	13.2	0.9	9.6	4.1	3.0	0.0	0.0	0.0	2.1	0.1	4.9
	CV %	13.2	19.6	20.2	7.7	7.9	0.0	12.9	0.1	7.8	7.8	7.6

Cuadro 47. Producción de metano en llamas: intermedio bajo.

Etapa	Llama	Peso	Tº		Concentración de CH ₄		V _C	V _A	Volumen real cámara	Emisiones de CH ₄		
			C	H	(ppm)	CH ₄ mg/m ³				m ³	m ³	m ³
4	1	122.4	5.65	51.50	66.3	46.5	10.00	0.14	9.9	33.0	2.1	79.5
1	2	89.6	3.79	50.88	50.5	35.7	10.00	0.10	9.9	25.4	1.6	60.8
2	3	103.5	6.30	57.00	60.7	42.5	10.00	0.12	9.9	30.2	1.9	72.9
3	4	90.4	4.10	32.88	63.3	44.6	10.00	0.10	9.9	31.8	2.0	76.2
	̄x	101.5	5.0	48.1	60.2	42.3	10.0	0.1	9.9	30.1	1.9	72.4
	D.E.	15.3	1.2	10.5	6.9	4.7	0.0	0.0	0.0	3.3	0.2	8.2
	CV %	15.1	24.4	21.8	11.4	11.2	0.0	14.8	0.2	11.1	11.1	11.3

Cuadro 48. Producción de metano en llamas: intermedio alto.

Etapa	Llama	Peso	Tº		Concentración de CH ₄		V _C	V _A	Volumen real cámara	Emisiones de CH ₄		
			C	H	(ppm)	CH ₄ mg/m ³				m ³	m ³	m ³
3	1	123.4	4.13	33.25	78.1	55.1	10.00	0.14	9.9	39.1	2.4	93.7
4	2	94.8	5.65	51.50	55.6	39.0	10.00	0.11	9.9	27.8	1.7	66.9
1	3	102.6	3.79	50.88	68	48.0	10.00	0.12	9.9	34.2	2.1	81.7
2	4	95.8	6.30	57.00	70.9	49.6	10.00	0.11	9.9	35.3	2.2	85.3
	̄x	104.2	5.0	48.2	68.2	47.9	10.0	0.1	9.9	34.1	2.1	81.9
	D.E.	13.3	1.2	10.3	9.4	6.7	0.0	0.0	0.0	4.7	0.3	11.2
	CV %	12.8	24.2	21.4	13.8	13.9	0.0	12.5	0.1	13.8	13.8	13.7

Cuadro 49. Producción de metano en llamas: ad libitum.

Etapa	Llama	Peso	Tº		Concentración de CH ₄		V _C	V _A	Volumen real cámara	Emisiones de CH ₄		
			C	H	(ppm)	CH ₄ mg/m ³				m ³	m ³	m ³
2	1	120	6.30	57.00	92.5	64.7	10.00	0.13	9.9	46.0	2.9	111.0
3	2	94	4.13	33.25	74.2	52.3	10.00	0.11	9.9	37.3	2.3	89.3
4	3	106.4	5.65	51.50	71.1	49.9	10.00	0.12	9.9	35.5	2.2	85.4
1	4	93.6	3.79	50.88	73.4	51.8	10.00	0.11	9.9	36.9	2.3	88.3
	̄x	103.5	5.0	48.2	77.8	54.7	10.0	0.1	9.9	38.9	2.4	93.5
	D.E.	12.5	1.2	10.3	9.9	6.8	0.0	0.0	0.0	4.8	0.3	11.8
	CV %	12.1	24.2	21.4	12.7	12.4	0.0	11.8	0.1	12.3	12.3	12.6

Cuadro 50. Cuadrado latino, emisión de CH₄, alpacas, g/día.

Etapa	1	2	3	4	Promedio	D.E.	CV %
I	17,9	20,8	21,9	18,3	19,73	1,94	9,82
II	25,3	16,1	28,1	26,4	23,98	5,37	22,42
III	22,8	24,5	19,7	19,0	21,50	2,59	12,06
IV	21,6	19,8	24,4	13,3	19,78	4,71	23,83
\bar{x}	21,90	20,30	23,53	19,25	21,24		
D.E.	3,08	3,45	3,60	5,40	3,94		
CV %	14,1	17,0	15,3	28,1	18,5		

Cuadro 51. Cuadrado latino, emisión de CH₄, alpacas, mol/día.

Etapa	1	2	3	4	Promedio	D.E.	CV %
I	1,1	1,3	1,4	1,1	1,23	0,15	12,24
II	1,6	1,0	1,8	1,6	1,50	0,35	23,09
III	1,4	1,5	1,2	1,2	1,33	0,15	11,32
IV	1,3	1,2	1,5	0,8	1,20	0,29	24,53
\bar{x}	1,35	1,25	1,48	1,18	1,31		
D.E.	0,21	0,21	0,25	0,33	0,26		
CV %	15,4	16,7	16,9	28,1	19,4		

Cuadro 52. Cuadrado latino, emisión de CH₄, alpacas, Lt/día.

Etapa	1	2	3	4	Promedio	D.E.	CV %
I	42,7	49,6	52,3	43,8	47,10	4,60	9,77
II	60,4	38,6	67,1	63,1	57,30	12,77	22,28
III	54,6	58,6	47,3	45,6	51,53	6,12	11,88
IV	51,7	47,3	58,3	31,9	47,30	11,22	23,72
\bar{x}	52,35	48,53	56,25	46,10	50,81		
D.E.	7,38	8,22	8,52	12,86	9,37		
CV %	14,1	16,9	15,1	27,9	18,4		

Cuadro 53. Cuadrado latino, emisión de CH₄, llamas, g/día.

Etapa	1	2	3	4	Promedio	D.E.	CV %
I	27,7	25,4	34,1	36,9	31,03	5,37	17,32
II	45,9	24,3	30,2	35,3	33,93	9,16	27,01
III	39,1	37,2	29,2	31,8	34,33	4,61	13,43
IV	33,0	27,7	35,4	26,1	30,55	4,38	14,32
\bar{x}	36,43	28,65	32,23	32,53	32,46		
D.E.	7,85	5,87	2,99	4,78	5,80		
CV, %	21,5	20,5	9,3	14,7	17,9		

Cuadro 54. Cuadrado latino, emisión de CH₄, llamas, mol/día.

Etapa	1	2	3	4	Promedio	D.E.	CV %
I	1,7	1,6	2,1	2,3	1,93	0,33	17,16
II	2,9	1,5	1,9	2,2	2,13	0,59	27,81
III	2,4	2,3	1,8	2,0	2,13	0,28	12,96
IV	2,1	1,7	2,2	1,6	1,90	0,29	15,49
\bar{x}	2,28	1,78	2,00	2,03	2,02		
D.E.	0,51	0,36	0,18	0,31	0,37		
CV %	22,2	20,2	9,1	15,3	18,3		

Cuadro 55. Cuadrado latino, emisión de CH₄, llamas, Lt/día.

Etapa	1	2	3	4	Promedio	D.E.	CV %
I	66.3	60.7	81.6	88.2	74.20	12.85	17.32
II	110.8	58.6	72.9	85.2	81.88	22.14	27.04
III	93.5	89.2	70.0	76.1	82.20	11.00	13.38
IV	79.4	66.8	85.3	62.9	73.60	10.51	14.28
\bar{x}	87.50	68.83	77.45	78.10	77.97		
D.E.	19.10	14.02	7.19	11.36	13.96		
CV %	21.8	20.4	9.3	14.6	17.9		

Anexo 5. Resultados de encuestas a criadores de camélidos

Cuadro 56. Tipo de crianza.

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido camélidos	40	100,0	100,0	100,0

Cuadro 57. ¿Tuvo alguna enfermedad anterior?

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido si	8	20,0	20,0	20,0
no	32	80,0	80,0	100,0
Total	40	100,0	100,0	

Cuadro 58. ¿Sabe si existe el metano?

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido si	14	35,0	35,0	35,0
no	26	65,0	65,0	100,0
Total	40	100,0	100,0	

Cuadro 59. ¿Sabe si los CSA producen metano?

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido si	1	2,5	2,5	2,5
no	39	97,5	97,5	100,0
Total	40	100,0	100,0	

Cuadro 60. ¿Sabe si afecta la salud humana?

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido si	1	2,5	2,5	2,5
no	39	97,5	97,5	100,0
Total	40	100,0	100,0	

Cuadro 61. ¿Ha notado un olor raro?

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido si	1	2,5	2,5	2,5
no	25	62,5	62,5	65,0
alguna vez	14	35,0	35,0	100,0
Total	40	100,0	100,0	

Cuadro 62. ¿En qué lugar percibe el olor raro?

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido en corral	15	37,5	37,5	37,5
en ningún lugar	25	62,5	62,5	100,0
Total	40	100,0	100,0	

Cuadro 63. ¿Con que cantidad de CSA siente ese olor?

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido 300 anim	5	12,5	12,5	12,5
400 anim	10	25,0	25,0	37,5
no percibe	25	62,5	62,5	100,0
Total	40	100,0	100,0	

Cuadro 64. ¿Otras molestias donde lo sintió?

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido corral	20	50,0	50,0	50,0
no siente	20	50,0	50,0	100,0
Total	40	100,0	100,0	

Cuadro 65. ¿Sintió asfixia?

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido si	1	2,5	2,5	2,5
no	31	77,5	77,5	80,0
alguna vez	8	20,0	20,0	100,0
Total	40	100,0	100,0	

Cuadro 66. ¿Sintió mareos?

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido si	1	2,5	2,5	2,5
no	35	87,5	87,5	90,0
alguna vez	4	10,0	10,0	100,0
Total	40	100,0	100,0	

Cuadro 67. ¿Sintió dolor de cabeza?

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido si	1	2,5	2,5	2,5
no	26	65,0	65,0	67,5
alguna vez	13	32,5	32,5	100,0
Total	40	100,0	100,0	

Cuadro 68. ¿Sintió nauseas?

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido si	1	2,5	2,5	2,5
no	26	65,0	65,0	67,5
alguna vez	13	32,5	32,5	100,0
Total	40	100,0	100,0	

Cuadro 69. ¿Sintió letargo?

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido no	36	90,0	90,0	90,0
alguna vez	4	10,0	10,0	100,0
Total	40	100,0	100,0	

Cuadro 70. ¿Sintió sueño?

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido si	2	5,0	5,0	5,0
no	35	87,5	87,5	92,5
alguna vez	3	7,5	7,5	100,0
Total	40	100,0	100,0	

Cuadro 71. ¿Perdió el conocimiento?

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido no	40	100,0	100,0	100,0

Cuadro 72. ¿Sintió irritación nasal?

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido si	3	7,5	7,5	7,5
no	23	57,5	57,5	65,0
alguna vez	14	35,0	35,0	100,0
Total	40	100,0	100,0	

Cuadro 73. ¿Usted estornudó?

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido si	3	7,5	7,5	7,5
no	22	55,0	55,0	62,5
alguna vez	15	37,5	37,5	100,0
Total	40	100,0	100,0	

Cuadro 74. ¿Sintió irritación bucal?

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido si	2	5,0	5,0	5,0
no	38	95,0	95,0	100,0
Total	40	100,0	100,0	

Cuadro 75. ¿Sintió irritación ocular?

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido si	1	2,5	2,5	2,5
no	32	80,0	80,0	82,5
alguna vez	7	17,5	17,5	100,0
Total	40	100,0	100,0	

Cuadro 76. ¿Sintió irritación auditiva?

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido si	1	2,5	2,5	2,5
no	39	97,5	97,5	100,0
Total	40	100,0	100,0	

Cuadro 77. ¿Sintió irritación laríngea?

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido si	1	2,5	2,5	2,5
no	25	62,5	62,5	65,0
alguna vez	14	35,0	35,0	100,0
Total	40	100,0	100,0	

Cuadro 78. ¿Sintió palpitación del corazón?

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido si	1	2,5	2,5	2,5
no	39	97,5	97,5	100,0
Total	40	100,0	100,0	

Cuadro 79. ¿Sintió dolor renal?

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido si	1	2,5	2,5	2,5
no	39	97,5	97,5	100,0
Total	40	100,0	100,0	

Anexo 6. Figuras del estudio producción de metano en CSA

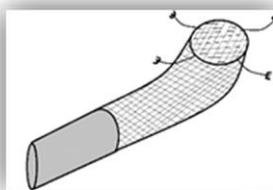


Figura 3. Desvío alambrado, CIP La Raya 2017.



Figura 4. Analizador Gaset DX 4030, CIP La Raya 2017.



Figura 5. Cámara de acumulación de gases, CIP La Raya 2017.



Figura 6. Analizador de gases Gaset DX 4030 en cámara, CIP La Raya 2017.



Figura 7. Ingreso de alpacas a la cámara, CIP La Raya 2017.



Figura 8. Registro de metano entérico en alpacas, CIP La Raya 2017.



Figura 9. Ingreso de llamas a la cámara, CIP La Raya 2017.

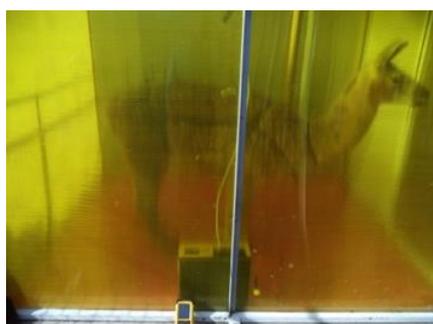


Figura 10. Registro de metano entérico en llamas, CIP La Raya 2017.



Figura 11. Registro de peso vivo,
CIP La Raya 2017.

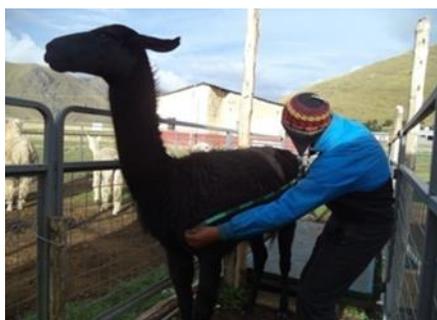


Figura 12. Medidas corporales,
CIP La Raya 2017.



Figura 13. Colección de heces,
CIP La Raya 2017.



Figura 14. Pesado de heces frescas
CIP La Raya 2017.



Figura 15. Cánulas esofágicas, CIP La Raya 2017.



Figura 16. Cánula en el esófago, CIP La Raya 2017.



Figura 17. Alpacas con fistula al pastoreo, CIP La Raya 2017.



Figura 18. Ingesta recuperada, CIP La Raya 2017.



Figura 19. Trozo más cercano al centro de la planta, UNA Puno 2017.



Figura 20. Trozos de tallos y hojas, UNA Puno 2017.



Figura 21. Secado de ingesta recuperada, CIP La Raya 2017.



Figura 22. Muestras en horno mufla, UNA Puno 2017.



Figura 23. Ebullición de muestra, UNA Puno 2017.



Figura 24. Picado de avena-alfalfa, CIP La Raya 2017.

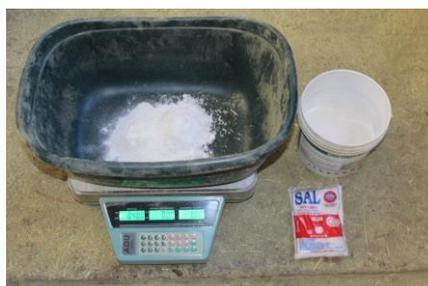


Figura 25. Pesado de insumos minerales CIP La Raya 2017.



Figura 26. Mezcla de concentrado fibroso CIP La Raya 2017.



Figura 27. Embolsado y pesado de concentrado fibroso, CIP La Raya 2017.



Figura 28. Ración de concentrado fibroso, CIP La Raya 2017.



Figura 29. Inicio de consumo de concentrado fibroso CIP La Raya 2017.

Anexo 7. Ficha de encuesta a criadores de camélidos.**Encuesta a criadores de camélidos**

Ficha N°

Todos los datos que usted proporcione sobre la actividad que desarrolla son confidenciales y solamente serán utilizados con fines de investigación en la producción de metano entérico en camélidos sudamericanos domésticos y su efecto en la salud de la población.

Datos generales:

Lugar y fecha.....

Nombre del pastor.....

Nombre de la cabaña.....

Por favor marque con una cruz la respuesta que considere le corresponde:

1. ¿Usted a qué tipo de crianza se dedica?
Crianza de vacunos () Crianza de ovinos () Crianza de camélidos ()
Otros animales ()
2. ¿Usted ha sufrido alguna enfermedad antes de dedicarse a la crianza de camélidos?
Si () No ()
3. ¿Usted sabe de la existencia del metano?
Si () No ()
4. ¿Usted sabe que los camélidos producen metano?
Si () No ()
5. ¿Usted sabe que el metano afecta la salud?
Si () No ()
6. ¿Usted nota un olor extraño producido por los camélidos, o en forma de gas?
Si () No () Alguna vez ()
7. ¿Al estar junto con los camélidos, en qué lugar siente ese olor extraño?
En el corral () En el pastoreo () En ningún lugar ()
8. ¿Aproximadamente, junto a qué cantidad de camélidos siente ese olor raro?
300 animales () 400 animales () 500 animales () No percibe ()
9. ¿Otras molestias donde los sintió?
En el corral () En el pastoreo () No siente molestias ()
10. ¿En ese momento, usted ha notado que se asfixiaba?
Si () No () Alguna vez ()

11. ¿En ese momento, usted ha sentido mareos?
Si () No () Alguna vez ()
12. ¿En ese momento, usted ha sentido dolor de cabeza?
Si () No () Alguna vez ()
13. ¿En ese momento, usted ha sentido nauseas?
Si () No () Alguna vez ()
14. ¿En ese instante, usted ha notado algún adormecimiento?
Si () No () Alguna vez ()
15. ¿En ese instante, usted ha sentido somnolencia o sueño?
Si () No () Alguna vez ()
16. ¿En ese instante, usted ha perdido el conocimiento?
Si () No () Alguna vez ()
17. ¿En ese instante, usted ha sentido irritación en la mucosa nasal?
Si () No () Alguna vez ()
18. ¿En ese instante, usted ha presentado estornudos?
Si () No () Alguna vez ()
19. ¿En ese instante, usted ha sentido irritación en la mucosa bucal?
Si () No () Alguna vez ()
20. ¿En ese instante, usted ha sentido irritación en la mucosa ocular?
Si () No () Alguna vez ()
21. ¿Usted ha sentido irritación en la mucosa auditiva?
Si () No () Alguna vez ()
22. ¿En ese instante, usted ha notado irritación laríngea, inclusive, en los pulmones?
Si () No () Alguna vez ()
23. ¿En ese instante, usted ha sentido palpitaciones del corazón?
Si () No () Alguna vez ()
24. ¿Usted ha sentido dolor en los riñones?
Si () No () Alguna vez ()