

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN CIENCIA ANIMAL**



**TESIS**

**EFEECTO DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL FORRAJE EN EL  
CONSUMO, GANANCIA DE PESO Y PRODUCCIÓN DE METANO EN  
LLAMAS Y ALPACAS**

**PRESENTADA POR:**

**JOSÉ EDUARDO RAMÍREZ ARUQUIPA**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIA ANIMAL**

**MENCIÓN EN PRODUCCIÓN ANIMAL**

**PUNO, PERÚ**

**2018**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CIENCIA ANIMAL



TESIS

EFFECTO DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL FORRAJE EN EL  
CONSUMO, GANANCIA DE PESO Y PRODUCCIÓN DE METANO EN  
LLAMAS Y ALPACAS

PRESENTADA POR:

JOSÉ EDUARDO RAMÍREZ ARUQUIPA

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAESTRO EN CIENCIA ANIMAL

MENCIÓN EN PRODUCCIÓN ANIMAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

Dr. ROBERTO FLORO GALLEGOS ACERO

PRIMER MIEMBRO

Dra. MARTHA NANCY TAPIA INFANTES

SEGUNDO MIEMBRO

Mg. OSCAR HENRY ESPEZÚA FLORES

ASESOR DE TESIS

Ph. D. BERNARDO ROQUE HUANCA

Puno, 19 de diciembre de 2018.

**ÁREA:** Nutrición Animal.

**TEMA:** Producción de metano en llamas y alpacas.

**LÍNEA:** Producción Animal.

## DEDICATORIA

A mis padres Evelio Ramírez Romero y Ada luz Aruquipa Romero, por el esfuerzo y cuidado incondicional que me brindaron en el transcurso de mi vida, este logro se los dedico.

A mis hermanos, Efraín, Miriam, Rubén, Vanessa, y a toda mi familia por el apoyo moral de seguir continuando mis estudios de Maestría y ser ejemplo de superación. Que pronto ustedes seguirán los mis pasos.

A Miriam por brindarme su apoyo y motivación para culminar la investigación y alcanzar mis objetivos.

A mis amigos y compañeros de la Maestría que me brindaron su apoyo invaluable en mi formación personal.

**Eduardo**

## AGRADECIMIENTOS

- A Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi vida y mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias, sobre todo salud y felicidad.
- A la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, mediante la Escuela de Posgrado a través del programa de Maestría en Ciencia Animal, por haberme permitido alcanzar mis estudios y mi formación profesional.
- A la plana docente de la Maestría en Ciencia Animal, de la Mención Producción Animal; por haber impartido sus conocimientos y consejos para la reafirmación de mi desempeño profesional.
- A los miembros del jurado calificador Dr. Roberto Floro Gallegos Acero, Dra. Martha Nancy Tapia Infantes, Mg. Oscar Henry Espezúa Flores, quienes con sus aportes ayudaron a mejorar este trabajo de investigación.
- Al Ph.D. Bernardo Roque Huanca, asesor de la tesis quien me ha brindado su apoyo, dedicación y tiempo en el transcurso y finalización del trabajo de investigación, por haberme compartido sus conocimientos y sobre todo su amistad.
- Al Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA), por haberme brindado la oportunidad de acceder a una BECA para mis estudios de Maestría y así poder concluir el trabajo de tesis mediante su financiamiento.
- Al Centro Experimental (CE) La raya dependencia de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno y al personal que labora en dicho centro, por haberme brindado el apoyo para la ejecución y culminación del presente estudio.
- Al equipo de investigadores que contribuyeron con su apoyo incondicional para poder hacer realce la culminación del presente trabajo a todos ustedes gracias en especial a Edgar Quispe Colque, que sin su esfuerzo no hubiera sido posible la culminación del trabajo de investigación.

**Eduardo**

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	xvi
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
INTRODUCCIÓN	1

### CAPÍTULO I

#### REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Marco teórico	2
1.1.1 Los camélidos	2
1.1.2 La llama	2
1.1.3 La alpaca	3
1.1.4 Anatomía y fisiología del estómago de los camélidos	4
1.1.5 Alimentación en camélidos	5
1.1.6 Requerimientos nutricionales para camélidos	8
1.1.7 Digestibilidad del alimento en camélidos	9
1.1.8 Componentes forrajeros de la dieta experimental	10
1.1.9 Concentrado fibroso	13
1.1.10 Ganadería y contaminación ambiental	14
1.1.10 El Metano atmosférico	15
1.1.11 Arqueas del rumen	16
1.1.12 Protozoos	18
1.1.13 Metano entérico	19
1.1.14 Patrón diario de las emisiones de metano entérico	20
1.1.15 Factores que afectan la metalogénesis	20
	iii

1.2	Antecedentes	23
1.2.1	Crecimiento de los camélidos sudamericanos	23
1.2.2	Emisiones de metano en camélidos	24
1.2.3	Metodologías para medir las emisiones de metano en rumiantes	24
1.2.4	Antecedentes de uso del equipo Gasmeter DX – 4030	28

## CAPÍTULO II

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1	Identificación del problema	30
2.2	Enunciados del problema	31
2.3	Justificación	31
2.4	Objetivos	32
2.4.1	Objetivo general	32
2.4.2	Objetivos específicos	32
2.5	Hipótesis	32
2.5.1	Hipótesis general	32
2.5.2	Hipótesis específicos	32

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	Lugar de estudio	33
3.2	Instalaciones	33
3.3	Animales	34
3.4	Alimento y dieta experimental	34
3.5	Materiales y equipos	35
3.5.1	Material de campo	35
3.5.2	Equipos e instrumentos utilizados en el lugar del experimento	36
3.5.3	Material de laboratorio	36
3.5.4	Reactivos	37
3.6	Metodología	38
3.6.1	Etapa pre - experimental	39
3.6.1.1	Manejo experimental de los animales	39
a)	Selección de la unidad experimental	39

b) Periodo de acostumbramiento	39
c) Distribución de animales	40
3.6.2 Etapa experimental	40
3.6.2.1 Alimentación.	40
3.6.2.2 Estimación del alimento ofrecido	41
3.6.2.4 Composición química del alimento	43
3.6.2.5 Determinación del consumo de materia seca.	43
3.6.2.6 Determinación de la respuesta animal	46
3.6.2.7 Determinación de la producción de metano	47
3.7 Análisis estadístico.	52
3.7.1 Estadística descriptiva	52
3.7.2 Diseño experimental	52
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	
4.1 Consumo de materia seca en llamas y alpacas	53
4.2 Ganancia de peso corporal en llamas y alpacas	57
4.3 Producción de metano entérico	61
CONCLUSIONES	65
RECOMENDACIONES	66
BIBLIOGRAFÍA	67
ANEXOS	89

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1. Selectividad en % de la dieta consumida en llamas de ambos sexos al pastoreo en praderas andinas	5
2. Selectividad de dieta consumida % en alpacas de ambos sexos al pastoreo en praderas andinas.	6
3. Composición química de ingesta por alpacas pastoreadas en bofedales por época (%) (Lluvia y seca).	6
4. Requerimientos diarios de energía y proteína de llamas machos en crecimiento de 70 Kg de peso y una ganancia de peso de 200 g/día.	8
5. Requerimientos diarios de energía y proteína de alpacas machos en crecimiento de 40 Kg de peso y una ganancia de peso de 100 g/día.	9
6. Formula alimenticia y composición química de las dietas experimentales A y B en la alimentación de llamas y alpacas machos, formulado con el programa solver.	34
7. Cronograma y tiempo de ejecución del trabajo de investigación en alimentación de llamas y alpacas bajo dos regímenes dietarios por efecto tamaño de partícula de los forrajes procesados mecánicamente.	38
8. Distribución de las llamas y alpacas según grupo experimental.	40
9. Estimación de alimento a ofrecer para llamas del grupo A.	42
10. Estimación de alimento a ofrecer para llamas del grupo B.	42
11. Estimación de alimento a ofrecer para alpacas del grupo A.	42
12. Estimación de alimento a ofrecer para alpacas del grupo B.	42

13. Análisis químico de la dieta del grupo A forrajes molidos a 12 mm de diámetro de tamaño de partícula.	43
14. Análisis químico de la dieta del grupo B forrajes molidos picados a 24 mm de diámetro de tamaño de partícula.	43
15. Modelos de requerimientos energéticos diarios para llamas y alpacas machos en crecimiento, obtenidos en ensayos experimentales en condiciones de altura.	46
16. Evaluación cronológica para el monitoreo de la ganancia de peso en llamas y alpacas.	46
17. Consumo de materia seca para llamas y alpacas de los grupos experimentales A y B alimentadas durante 90 días.	53
18. Ganancia de peso corporal g/día, para llamas y alpacas de los grupos experimentales A y B alimentadas durante 90 días.	57
19. Producción de metano entérico para llamas y alpacas, con dos grupos experimentales A y B alimentadas con concentrado fibroso (ad libitum).	61
20. Consumo de materia seca en llamas del grupo A, alimentada con tamaño de partícula 12 mm $\emptyset$	104
21. Consumo de materia seca en llamas del grupo B, alimentados con tamaño de partícula 24 mm $\emptyset$	104
22. Consumo de materia seca en Alpacas del grupo A, alimentada con tamaño de partícula 12 mm $\emptyset$	105
23. Consumo de materia seca en Alpacas del grupo B, alimentados con tamaño de partícula 24 mm $\emptyset$	105
24. Determinación de los requerimientos energéticos en términos de energía metabolizable a partir de la tasa metabólica de campo para llamas y alpacas al pastoreo.	106

25. Determinación de energía metabolizable de los pastos naturales a partir de NDT, para llamas y alpacas.	106
26. Consumo de materia seca en Llamas del grupo C, alimentados en pastoreo.	107
27. Consumo de materia seca en Alpacas del grupo C, alimentados en pastoreo.	107
28. Ganancia de peso en llamas del grupo A, alimentados con tamaño de partícula 12 mm $\emptyset$	108
29. Ganancia de peso en llamas del grupo B, alimentados con tamaño de partícula 24 mm $\emptyset$	108
30. Ganancia de peso en Alpacas del grupo A, alimentados con tamaño de partícula 12 mm $\emptyset$	109
31. Ganancia de peso en Alpacas del grupo B, alimentados con tamaño de partícula 24 mm $\emptyset$	109
32. Producción de metano entérico en llamas del grupo A, alimentado con tamaño de partícula 12 mm $\emptyset$	111
33. Producción de metano entérico en llamas del grupo B, alimentado con tamaño de partícula 24 mm $\emptyset$	111
34. Producción de metano entérico en Alpacas del grupo A, alimentado con tamaño de partícula 12 mm $\emptyset$	112
35. Producción de metano entérico en alpacas del grupo B, alimentado con tamaño de partícula 24 mm $\emptyset$	112
36. Producción de metano entérico en llamas del grupo C, alimentado en condiciones de pastoreo.	113
37. Producción de metano entérico en alpacas del grupo C, alimentado en condiciones de pastoreo.	113
38. Resumen para producción de metano en llamas de los grupos A, B, C.	114

39. Resumen para producción de metano en alpacas de los grupos A, B, C.	114
40. Volumen corporal de las llamas de los grupos A, B, C.	115
41. Volumen corporal de las alpacas de los grupos A, B, C.	115
42. ANVA para consumo de materia seca en Kg/día, según factor especie (Llamas y Alpacas) y dieta experimental (12 y 24 mm $\varnothing$ del tamaño partícula)	116
43. ANVA para ganancia de peso en Kg/día en un periodo de alimentación de 90 días, según factor especie (Llamas y Alpacas) y dieta experimental (12 y 24 mm $\varnothing$ del tamaño partícula)	116
44. ANVA para producción de metano en g/día, según factor especie (Llamas y Alpacas) y dieta experimental (12 y 24 mm $\varnothing$ del tamaño partícula)	116

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
1. Predicción del peso vivo de llamas y alpacas desde 1 hasta 36 meses de edad	24
2. Regresión lineal simple de la retención de energía (RE, kcal/W <sub>Kg</sub> <sup>0.75</sup> ), sobre el consumo de energía metabolizable (EM, kcal/W <sub>Kg</sub> <sup>0.75</sup> ) para llamas y alpacas (Ramírez, 2017).	44
3. Regresión de la energía metabolizable de ganancia (EM <sub>g</sub> , kcal/W <sub>Kg</sub> <sup>0.75</sup> ) sobre la ganancia de peso (G, g/W <sub>Kg</sub> <sup>0.75</sup> ), Ramírez, 2017.	45
4. Cámara de acumulación de gases del aire respirado y el equipo Gasmeter DX 4030.	47
5. Medidas corporales para alpacas y llamas	50
6. Consumo de alimento en base seca, Kg/día; para llamas con dos dietas experimentales grupo A; 12 mm ø y grupo B; 24 mm ø de tamaño partícula del forraje.	54
7. Consumo de alimento en base seca, Kg/día; para llamas con dos dietas experimentales grupo A; 12 mm ø y grupo B; 24 mm ø de tamaño partícula del forraje.	54
8. Consumo de alimento en base seca, g/W <sub>Kg</sub> <sup>0.75</sup> ; para llamas y alpacas con dos dietas experimentales grupo A; 12 mm ø y grupo B; 24 mm ø de tamaño partícula del forraje (p<0.05)	56
9. Ganancia de peso g/día; para llamas y alpacas con dos dietas experimentales grupo A; 12 mm ø y grupo B; 24 mm ø de tamaño partícula del forraje.	58
10. Cabaña lloketa.	90
11. Población de llamas y alpacas.	90
12. Selección de llamas y alpacas.	90
13. Traslado de los animales al centro de investigación.	90
	x

14. Fase de acostumbramiento de los animales con pastos naturales.	90
15. Fase de acostumbramiento en cercos con malla metálica..	90
16. Fase de acostumbramiento de llamas al heno de avena y alfalfa.	91
17. Fase de acostumbramiento de alpacas al heno de avena y alfalfa.	91
18. Sujeción de los animales para desparasitación.	91
19. Desparasitación de los animales.	91
20. Adquisición de henos de avena y alfalfa.	91
21. Almacén de henos de avena y alfalfa.	91
22. Molino picador forrajero marca Trapp, modelo TRF – 800.	92
23. Picador forrajero marca Trapp, modelo ES – 600.	92
24. Procesamiento mecánico de los forrajes.	92
25. Operación del molino y picador forrajero.	92
26. Pesado de las fuentes minerales, sal común y rocsalfos.	92
27. Adición de suplementos mineral a las dietas (Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Ca <sup>+</sup> , Cl <sup>-</sup> ).	92
28. Pesado de los henos molidos y picados para su mezcla.	93
29. Preparación y mesclado de las dietas experimentales.	93
30. Separación de las dietas experimentales A y B.	93
31. Dieta experimental A; 12 mm ø de tamaño partícula.	93
32. Dieta experimental B; 24 mm ø de tamaño partícula.	93
33. Pesado del alimento para llamas.	93
34. Pesado del alimento para alpacas.	94

35. Pesado de alimento para los grupos A y B de llamas y alpacas.	94
36. Alimentación de llamas del grupo A; 12 mm $\phi$ .	94
37. Alimentación de llamas del grupo B; 24 mm $\phi$ .	94
38. Alimentación de alpacas del grupo A; 12 mm $\phi$ .	94
39. Alimentación de alpacas del grupo B; 24 mm $\phi$ .	94
40. Consumo de alimento, llamas del grupo A 12 mm $\phi$ .	95
41. Consumo de alimento, llamas del grupo B 12 mm $\phi$ .	95
42. Consumo de alimento, alpacas del grupo A; 12 mm $\phi$ .	95
43. Consumo de alimento, alpacas del grupo B; 24 mm $\phi$ .	95
44. Limpieza de los bebederos.	95
45. Suministro de agua a libre consumo.	95
46. Control de peso en llamas.	96
47. Control de peso en llamas.	96
48. Control de peso en alpacas.	96
49. Control de peso en alpacas.	96
50. Cámara para acumulación de gases.	96
51. Equipos y material para la medición de metano entérico.	96
52. Instalación del equipo gasmeter DX 4030.	97
53. Control de la temperatura en la cámara.	97
54. Ingreso de llamas al interior de la cámara.	97
55. Medición de metano entérico.	97

56. Sellado de la cámara de acumulación de gases.	97
57. Salida de los animales del interior de la cámara luego del min 20.	97
58. Medición de metano entérico en alpacas.	98
59. Sellado de la cámara de acumulación de gases.	98
60. Calibración del equipo gasset DX 4030.	98
61. Visualización de los datos registrados en el PDA.	98
62. Medición del largo corporal en llamas.	98
63. Medición del perímetro torácico en llamas.	98
64. Medición del largo corporal en alpacas.	99
65. Medición del perímetro torácico en alpacas.	99
66. Determinación de materia seca de los forrajes.	99
67. Heno de avena molido a 12 mm $\varnothing$ de tamaño partícula; grupo A.	99
68. Heno de avena picado a 24 mm $\varnothing$ de tamaño partícula; grupo B.	99
69. Heno de Alfalfa molido a 12 mm $\varnothing$ de tamaño partícula; grupo A.	99
70. Heno de alfalfa picado a 24 mm $\varnothing$ de tamaño partícula; grupo B.	100
71. Molido de los forrajes para análisis químico.	100
72. Muestreo y pesado de forrajes para análisis químico.	100
73. Pesado de muestras para análisis químico.	100
74. Crisol con muestras de forrajes.	100
75. Determinación de cenizas totales	100
76. Determinación de extracto eterio.	101

77. Extractor Soxhlet.	101
78. Adición de solución digestora.	101
79. Valón Kjeldahl con muestra más ácido.	101
80. Destilación de la muestra.	101
81. Titulación de muestra.	101
82. Adición de solución FDN.	102
83. Ebullición de la muestra con solución FDN.	102
84. Ebullición y refrigeración de la muestra.	102
85. Lavado de la porción insoluble de la muestra.	102
86. Lavado con agua destilada caliente.	102
87. Secado e incineración de la muestra en crisol.	102
88. Equipo bomba calorimétrica	103
89. Operación del calorímetro.	103
90. Registro de peso y temperatura del agua destilada.	103
91. Recuperación de ácido sulfúrico después de la combustión.	103
92. Adición de rojo de metileno.	103
93. Titulación con carbonato de sodio hasta color salmón.	103
94. Incremento de peso en llamas del grupo A (12 mm $\varnothing$ )	110
95. Incremento de peso en llamas del grupo B (24 mm $\varnothing$ )	110
96. Incremento de peso en alpacas del grupo A (12 mm $\varnothing$ )	110
97. Incremento de peso en alpacas del grupo B (24 mm $\varnothing$ )	110

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
1. Panel fotográfico	90
2. Determinación del consumo de materia seca en llamas y alpacas, grupos experimentales A; 12 mm $\varnothing$ y B; 24 mm $\varnothing$	104
3. Determinación del consumo de materia seca en llamas y alpacas al pastoreo.	106
4. Registro para ganancia de peso en llamas y alpacas, grupos experimentales A; 12 mm $\varnothing$ y B; 24 mm $\varnothing$	108
5. Producción de metano en llamas y alpacas, grupos experimentales A; 12 mm $\varnothing$ y B; 24 mm $\varnothing$	111
6. Producción de metano en llamas y alpacas, alimentadas al pastoreo	113
7. Resumen comparativo de producción de metano en llamas y alpacas, con dos dietas experimentales y al pastoreo	114
8. Determinación del volumen corporal de llamas y alpacas	115
9. Análisis estadístico para, consumo de materia seca, ganancia de peso y producción de metano en llamas y alpacas	116

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

C1, C2 y C3: Compartimientos ruínales de llamas y alpacas

CNF : Carbohidratos no fibrosos

CT : Cenizas totales

CH<sub>4</sub> : Metano

CMS : Consumo de materia seca

EM : Energía metabolizable

EB : Energía bruta

ED : Energía digestible

EMm: Energía metabolizable de mantenimiento

EMg: Energía metabolizable de ganancia

EE : Extracto eterio

Eq CO<sub>2</sub>: Equivalente CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono)

FDN : Fibra detergente neutro

g : Gramos

PT : Proteínas Totales

H ° : Humedad relativa

IMS : Ingestión de materia seca

J : Joule

Kcal : Valor calórico 1x10<sup>3</sup>

Kj : Kilo joule

L : Litros

NDT : Nutrientes digestibles totales

mm : Milímetros

MS : Materia seca

mol : Moles

ppmv: Partes por millón en volumen

PC : Producción de calor

∅ : Diámetro

W<sub>Kg</sub><sup>0.75</sup> : Peso metabólico

## RESUMEN

El trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto del tamaño de partícula del forraje en el consumo, ganancia de peso y producción de metano en llamas y alpacas, alimentados con henos de avena y alfalfa (1:1), procesados mecánicamente a 12 y 24 mm de diámetro a 4,200 m de altitud durante 90 días, se utilizaron 10 llamas y alpacas machos de 2 años divididos en dos grupos por especie, grupo A (12 mm  $\phi$ ) n=5 y grupo B (24 mm  $\phi$ ) n=5, el consumo de materia seca fue calculado mediante la ecuación del balance de energía a partir de los requerimientos energéticos para llamas y alpacas. La ganancia de peso se determinó mediante la diferencia del peso final menos el peso inicial. La producción de metano por espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FTIR), con el equipo Gasmeter DX-4030. El consumo de materia seca para llamas fue de  $2.240 \pm 0.368$ ,  $2.675 \pm 0.368$  Kg/día y para alpacas fue de  $1.161 \pm 0.064$ ,  $1.201 \pm 0.135$  Kg/día en los grupos A y B respectivamente ( $p < 0.05$ ). La ganancia de peso diario para llamas fue de  $0.180 \pm 0.064$ ,  $0.250 \pm 0.032$  Kg/día y para alpacas fue de  $0.081 \pm 0.010$ ,  $0.086 \pm 0.021$  Kg/día (grupos A y B) respectivamente ( $p < 0.05$ ). La producción de metano entérico para llamas fue de  $24.61 \pm 3.67$  g/día,  $26.67 \pm 3.49$  g/día, y para alpacas fue de  $11.53 \pm 1.82$  g/día,  $13.87 \pm 3.39$  g/día, en los grupos A y B respectivamente ( $p > 0.05$ ). Se concluye que el efecto tamaño de partícula del forraje tiene efecto en el consumo de alimento, ganancia de peso, sin embargo la producción de metano entérico estuvo influenciada por el factor especie y no por el factor dieta experimental, no habiendo diferencia estadística.

**Palabras clave:** Alimentación, *ad libitum*, concentrado fibroso, espectroscopia, metano.

## ABSTRACT

The objective of the work was to evaluate the effect of forage particle size on consumption, weight gain and methane production in llamas and alpacas, fed with oats and alfalfa hay (1: 1), mechanically processed at 12 and 24 mm in diameter at 4,200 m altitude for 90 days, 10 llamas and alpacas male of 2 year old were used divided into two groups by species, group A (12 mm  $\phi$ ) n = 5 and group B (24 mm  $\phi$ ) n = 5, the dry matter consumption was calculated by the equation of the energy balance from the energy requirements for llamas and alpacas. The weight gain was determined by the difference of the final weight less the initial weight. The production of methane by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), with the Gasmeter DX-4030 equipment. The consumption of dry matter for llamas was  $2,240 \pm 0.368$ ,  $2,675 \pm 0.368$  Kg/day and for alpacas it was  $1,161 \pm 0.064$ ,  $1,201 \pm 0.135$  Kg/day in groups A and B respectively ( $p < 0.05$ ). The daily weight gain for llamas was  $0.180 \pm 0.064$ ,  $0.250 \pm 0.032$  Kg/day and for alpacas it was  $0.081 \pm 0.010$ ,  $0.086 \pm 0.021$  Kg/day (groups A and B) respectively ( $p < 0.05$ ). The production of enteric methane for llamas was  $24.61 \pm 3.67$  g/day,  $26.67 \pm 3.49$  g/day, and for alpacas it was  $11.53 \pm 1.82$  g/day,  $13.87 \pm 3.39$  g/day, in groups A and B respectively ( $p > 0.05$ ). It is concluded that the particle size effect of forage has an effect on food consumption, weight gain, however the production of enteric methane was influenced by the species factor and not by the experimental diet factor, there being no statistical difference.

**Keywords:** Feeding, *ad libitum*, fibrous concentrate, spectroscopy, methane.

## INTRODUCCIÓN

La crianza de llamas y alpacas es una actividad económica que ocupa a unas 500 mil unidades familiares de la región andina, principalmente de Perú y Bolivia, donde se maneja unos 3.5 millones de alpacas y 3.6 millones de llamas (FAO, 2005), en ambientes climáticos adversos de gran altitud, hipoxia y descensos térmicos de hasta  $-25^{\circ}\text{C}$  (Pinto *et al.* 2010), alimentación con pastos naturales escasos y pobres (Reiner *et al.*, 1987; Genin *et al.*, 1994), obteniendo carne de alto valor nutricional (Polidori *et al.*, 2007), fibra de alto valor textil (Iñiguez *et al.*, 1998), contribuyendo por tanto con la seguridad alimentaria (Suman y McMillin, 2014) y el desarrollo económico de sus poblaciones (Kristjanson *et al.*, 2007).

La baja producción en ganancia de peso y la producción de metano en la ganadería de los Andes del Perú, ha tenido mayor atención por la comunidad científica en los últimos años a consecuencia de sus efectos negativos en el medio ambiente (Mahecha *et al.*, 2017), debido a las características de la alimentación con base en pastos naturales de alto contenido en fibra, bajos niveles de proteína, baja digestibilidad, reducido consumo de alimento que provocan un desequilibrio en la ingestión de nutrientes que conlleva a una disminución de las tasas reproductivas y productivas (Reiner y Bryant, 1986; Genin *et al.*, 2002; IICAT, 2016), agravada por el problema de la sarcocistiosis macroscópica (*Sarcocystis aucheniae*) y microscópica (*Sarcocystis masoni*) (Moré *et al.*, 2016), que devalúan la calidad de la carne, causando pérdidas económicas significativas (Saeed *et al.*, 2018).

La alteración de las características de la dieta y la consecuente alimentación del ganado con mezclas forrajeras procesadas mecánicamente es una estrategia dietaria que podría posibilitar a resolver el problema de la baja producción y alta contaminación; sin embargo, no se conoce sus efectos en camélidos. Los estudios han mostrado que la reducción del tamaño de partícula tiene efectos sobre el consumo de materia seca, la ganancia de peso, las emisiones de metano, la digestibilidad y consecuentemente sobre la producción en el ganado (Zhao *et al.*, 2017; Thomson *et al.*, 2017; Tayyab *et al.*, 2018).

## CAPÍTULO I

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 1.1 Marco teórico

##### 1.1.1 Los camélidos

Los camélidos domésticos (llama y alpaca) son especies adaptadas en ambientes de tierras altas de los andes de Perú, Bolivia y otros. Los camélidos sudamericanos (CSA) han alcanzado un equilibrio con el ambiente de gran altitud gracias a una alta tasa de conversión de la vegetación nativa transformarla en carne, fibra, piel y cuero usados en la industria y en artesanías como productos principales y gran parte de estos productos se consumen en el hogar y la venta de carne y fibra irregularmente (Avilés *et al.*, 2018). Los camélidos constituyen una actividad económica que ocupa a unas 500 mil unidades familiares de la región andina, principalmente de Perú y Bolivia, donde se maneja unos 3.7 millones de alpacas y 3.6 millones de llamas (FAO, 2005). Su crianza se concentra mayormente en zonas rurales, realizándose de manera extensiva, donde la alimentación se basa casi exclusivamente en el pastoreo de la vegetación natural (INEI, 2013).

##### 1.1.2 La llama

La llama después de la alpaca es numéricamente la especie más importante de los camélidos sudamericanos en el Perú hay una población aproximada de 1'360,585 cabezas (García *et al.*, 2002).

La información disponible (Pinares-Patiño *et al.*, 2003) demuestra que 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 cultura andina. Estos animales son mantenidos en general por los productores hasta una edad avanzada (12-14 años), y al término de este período son sacrificados, de tal manera que la carne obtenida es de inferior calidad y aprovechada mayormente como charqui. La llama nace con un peso promedio de 11.5 Kg; llegando a los 6 a 8 meses de edad a pesar 42 Kg, y a los 2 años llega a 83 Kg, siendo el rendimiento de carcasa de 59% (García *et al.*, 2002).

### 1.1.3 La alpaca

Es una especie de camélidos conocida como miembro del género *Lama* (*Lama pacos*), y renombrada como integrante del género *Vicugna* (*Vicugna pacos*) (Kaldwell *et al.*, 2001), adaptado a pastizales, capaz de seleccionar una dieta de alta calidad cuando sea disponible y de sobrevivir sobre forrajes fibrosos de baja calidad, remarcable productora de fibra y carne, que contribuye efectivamente al bienestar y subsistencia de las poblaciones de esos ambientes duros y difíciles (Engelhardt *et al.*, 1986 a,b; San Martín, 1989).

La población mundial de alpacas se estima en unos 3,7 millones (FAO, 2005) y el 80% de ellas (aproximadamente 3 millones) se encuentran principalmente en las zonas alto andinas de Perú (Puno, Arequipa, Cuzco, Ayacucho, Huancavelica y Apurímac), de las cuales aproximadamente el 86% son alpacas de color blanco (Brenes *et al.*, 2001); el 20% restante se localiza principalmente en Bolivia y Chile, aunque se han introducido con éxito a Australia, Canadá, Inglaterra, Francia, Nueva Zelanda y Estados Unidos. Existen dos razas de alpacas, Huacaya y Suri. La alpaca Huacaya se caracteriza por tener un vellón compacto, esponjoso y similar al vellón del ovino Corriedale que le confiere una apariencia más voluminosa, con fibras finas suaves y onduladas que representa el 85% de la población de alpacas en el Perú. La alpaca, nace con un peso promedio de 7 Kg, llegando a los 6-8 meses de edad con un peso de 28 Kg, y a los 2 años llegan a pesar 48 Kg en promedio, con un rendimiento de carcasa del 56% (García *et al.*, 2002).

#### 1.1.4 Anatomía y fisiología del estómago de los camélidos

Los camélidos sudamericanos (CSA) son herbívoros que poseen un estómago dividido en 3 compartimentos (C1, C2 y C3) (Vallenas *et al.*, 1971), los cuales comprenden 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 el lugar donde ocurre la fermentación del forraje consumido, un proceso fundamental para la nutrición del animal, es el más grande de los tres compartimentos 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 (Engelhardt *et al.*, 2007). Se destaca la presencia de sacos glandulares en el estómago que les permite una eficiente maceración, mezclado y absorción de la digesta (San Martín, 1989). Los C1 y C2 (principalmente el C1) están implicados en los procesos de fermentación y contienen la microbiota necesaria para el aprovechamiento de los vegetales fibrosos (Cerón, 2016).

Los compartimientos C1 y C2, están cubiertos por áreas de sacos glandulares (Bowen, 2003), con células epiteliales equipadas con microvilli (Lechner-Doll *et al.*, 1995); mientras que el estómago de ovino, caprino y vacuno está formado por cuatro compartimentos (rumen, retículo, omaso y abomaso), los tres primeros están cubiertos por papilas con epitelio estratificado y queratinizado (Lechner-Doll *et al.*, 1995); sin embargo, ambos tipos de estómagos sirven de cámaras de fermentación, y responden a los mismos mecanismos de rumia (Irlbeck, 2002).

Los camélidos muestran que tienen mayor capacidad que el vacuno, ovino o caprino para digerir los forrajes fibrosos (Hintz *et al.*, 1973; San Martín y Bryant, 1989; Warmington *et al.*, 1989; Gihad *et al.*, 1989; Dulphy *et al.*, 1994; López *et al.*, 1998; Van Saun, 2006; Folkesson, 2007), debido a un mayor tiempo de retención del alimento en su tracto digestivo y una mayor exposición a la fermentación microbiana (López *et al.*, 1998; Sponheimer *et al.*, 2003).

### 1.1.5 Alimentación en camélidos

El consumo de materia seca, es uno de los factores de mayor importancia en la alimentación animal, se define como la cantidad disponible de nutrientes que el animal ingiere por unidad de masa, para su medición requiere que el animal tenga acceso libre al alimento en cantidades excesivas; tiene importancia práctica para prevenir la subalimentación o la sobrealimentación (NRC, 2001).

La base de la alimentación de las llamas en general lo constituyen las praderas de pastos naturales las que se caracterizan por un predominio de gramíneas con escasa presencia de leguminosas (FAO, 2009).

Las llamas alimentadas al pastoreo consumen 1838 g/d de MS con un peso vivo promedio de 114.6 Kg para machos y para hembras un consumo de MS de 984.6 g/d con un peso vivo promedio de 90.1 Kg (Choquemamani, 20017).

Tabla 1

*Selectividad en % de la dieta consumida en llamas de ambos sexos al pastoreo en praderas andinas*

<b>Especie</b>	<b>Macho</b>	<b>Hembra</b>	<b>Promedio General</b>
<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 unioloides</i>	3.3	7.3	7.3
<i>Hipochoeris taraxacoides</i>	1.7	1.0	1.0
<i>Mulembergia Fastigiata</i>	0.0	2.0	1.0
Otros	0.3	0.0	0.2
Total	100	100	

Fuente: (Choquemamani, 2017).

La alpaca en pastoreo, es altamente selectiva; en época seca prefiere dietas de *Eleocharis albibracteata*, *Poa spp.*, *Calamagrostis heterophylla*, *Calamagrostis vicunarum*, *Alchemilla pinnata*, *Muhlemburgia fastigiata*, y *Carex spp.* las especies de menor abundancia pero de alta preferencia son *Poa gymnantha*, *Muhlemburgia peruviana*, *Stipa brachiphylla*, *Ranunculus limoselloides* y *Trifolium amabile*; mientras que la *Festuca dolichophylla* tiene un bajo índice de preferencia; y más bien consumen considerables cantidades de semillas que gramíneas (Bryant y Farfán, 1984).

Tabla 2

*Selectividad de dieta consumida % en alpacas de ambos sexos al pastoreo en praderas andinas.*

<b>Especie</b>	<b>Macho</b>	<b>Hembra</b>	<b>Promedio General</b>
<i>Festuca dolichophylla</i>	31.0	19.7	25.3
<i>Calamagrostis spp</i>	30.3	19.7	25.0
<i>Bromus unioides</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: (Quispe, 2017).

En las praderas altoandinas las gramíneas fueron el grupo funcional de especies que predominaron, seguidas por las herbáceas, graminoides (cyperáceas y juncáceas), leguminosas y arbustivas (Manrique., *et al* 2018). La disponibilidad y aporte nutricional de los pastizales altoandinos es variable a lo largo del año y, por consiguiente, presentan fuertes limitaciones nutricionales y productivas, condicionadas por factores de orden climático. Por ejemplo, la disponibilidad de energía metabolizable es potencialmente deficiente entre noviembre y diciembre, la proteína cruda es insuficiente entre mayo y julio, y tanto la energía metabolizable como la proteína cruda son limitantes entre agosto y octubre (época seca) (San Martín y Van Saun, 2014).

Tabla 3

*Composición química de ingesta por alpacas pastoreadas en bofedales por época (%) (Lluvia y seca).*

<b>Composición</b>	<b>n</b>	<b>Lluvia</b>	<b>Seca</b>	<b>Significancia</b>
Materia seca	6	9.04±0.27	10.65±0.63	**
Materia orgánica	6	89.34±1.67	88.25±1.45	ns
Proteína	6	17.41±2.55	12.75±1.93	**
Extracto etéreo	6	7.29±0.76	7.47±1.09	ns
Fibra cruda	6	25.16±5.34	29.86±5.48	ns
ELN	6	39.46±8.85	38.16±8.67	ns
FDN	6	60.57±7.22	62.66±4.52	*

Fuente: Mayta, (2005).

El consumo de materia seca en pastoreo, estimado en alpacas equipadas con cánulas esofágicas y sobre *Festuca dolichophylla/Muhlebergia fastigiata*, en La Raya Perú a 4200 msnm fue variable entre estaciones del año. En la estación seca

(octubre), el consumo fue de  $60.5 \text{ g/W}_{\text{Kg}}^{0.75}$ , mientras que en la estación húmeda (Febrero) fue de  $53.7 \text{ g/W}_{\text{Kg}}^{0.75}$  (Reiner *et al.*, 1987).

La alpaca en confinamiento, cuando es alimentada con forrajes, son más eficientes en la masticación e ingestión de forrajes largos que los ovinos (Flores y Gutiérrez, 1995); consume a voluntad una mayor cantidad de ryegrass y festuca que trébol y paja de trigo, variando de 39.9 a  $63.1 \text{ g/W}_{\text{Kg}}^{0.75}$  para la materia seca y 36.5 a  $57.1 \text{ g/W}_{\text{Kg}}^{0.75}$  para materia orgánica (López *et al.*, 1998). El consumo de materia seca de la alpaca es de 1.8 % del peso corporal, similar al de la llama cuando se ajusta al peso corporal metabólico, y 20 % menor que la capacidad de consumo del ovino (San Martín y Bryant, 1989); en alpacas en mantenimiento el consumo es de 1.25 % del peso corporal, aumenta a 1.5 % en gestación, y 2.0 a 2.75 % en lactación (Van Saun, 2006).

El consumo de materia seca depende de la composición química del alimento, la disponibilidad, y la digestibilidad del forraje (López *et al.*, 1998; Trabalza *et al.*, 2001); depende también del contenido de proteína (San Martín y Bryant, 1989), y fibra detergente neutro del forraje (López *et al.*, 1998). En alpacas de crianza intensiva, el consumo de materia seca de heno de alfalfa fue 23.0 g/Jg de peso corporal en 24 horas, equivalente a 13.37 MJ de energía metabolizable (EM) y 262.2 g de proteína cruda (PC); las alpacas seleccionaron 77.3 % hojas y 22.7 % tallos; y se ha observado, una variación en consumo entre periodos diurno y nocturno (Raggi *et al.*, 1994).

El consumo diario de materia seca de cuatro diferentes tipos de heno comercial, evaluado en ocho alpacas machos fue  $40.1 \text{ g/W}_{\text{Kg}}^{.75}$  para el trébol,  $63.1 \text{ g/W}_{\text{Kg}}^{.75}$  para ryegrass,  $39.9 \text{ g/W}_{\text{Kg}}^{.75}$  para paja de trigo y  $56.9 \text{ g/W}_{\text{Kg}}^{.75}$  para festuca (López *et al.*, 1998). En alpacas huacaya hembras, lactantes con cría (80.7 Kg) y no lactantes (66.7 Kg), alojadas en grupo y en sistema de libre pastoreo, en un periodo de 55 días, el consumo fue de 6.0 Kg DM/Kg BW para alpacas no lactantes y 8.4 Kg DM/Kg BW para alpacas lactantes con crías. El consumo promedio de materias seca en el día cinco del periodo de colección fecal fue 1.13 Kg MS/Kg BW para el grupo no lactante, el cual iguala a un promedio de 1.4 % de BW/día y 1.2 Kg DM/Kg BW para el grupo lactante, equivalente a 1.8 % de BW/día. Hubo diferencia en DMI entre grupos y días (Folkesson, 2007).

Un ensayo comparativo de consumo en confinamiento y pastoreo entre alpacas y ovinos machos, alimentados en nivel *ad libitum*, reveló que las alpacas

seleccionan dieta de menor calidad, y consumen menor cantidad de materia seca que el ovino ( $\text{g/Kg LW}^{0.75}$ ), 38.8 v 74 heno de alfalfa (*Medicago sativa*) en confinamiento; 33.5 v 70 ryegrass/trébol blanco (*Lolium perenne/Trifolium repens*), y 40.3 v. 128.0 para trébol cornudo (*Lotus corniculatus*) en pastoreo, respectivamente (Pinares *et al.*, 2003).

En resumen, las alpacas comen pastos y malezas (juncos y totorillas) más que leguminosas; puro heno de alfalfa con 20-25% de proteína es mucho para las alpacas; un ovino sobre pasturas mejoradas consume al menos 2.5 veces más leguminosas que las alpacas; una alpaca necesita una cantidad similar de alimento que un ovino, por ejemplo, una oveja seca australiana de 60-80 Kg de peso corporal equivale a una oveja merino de 45-50 Kg, de manera que  $70 \text{ dividido por } 47.5 = 1.47$  (Lawrie, 2004).

### 1.1.6 Requerimientos nutricionales para camélidos

La energía es considerada como el primer nutriente limitante en todo sistema de alimentación, de allí la importancia de la valoración energética de los alimentos consumidos por los animales. (Torres *et al.*, 2009).

La ciencia reporta dos requerimientos nutricionales en camélidos: uno realizado por balance C-N en llamas (Engelhard y Schneider, 1977) y otro por calorimetría indirecta en llamas (Carmean *et al.*, 1992); ambos, en contextos próximos al nivel del mar. A partir de esos datos, Van Saun (2006), ha resumido un solo modelo de requerimiento energético de mantenimiento para llamas y alpacas, con la asunción de que ambas especies son similares; sin embargo, otros autores han encontrado diferencias (Davies *et al.*, 2007), sugiriendo la necesidad de realizar estudios específicos.

Tabla 4

*Requerimientos diarios de energía y proteína de llamas machos en crecimiento de 70 Kg de peso y una ganancia de peso de 200 g/día.*

Requerimientos	Modelos de Predicción	Valores calculados
Mantenimiento	$\text{EM (Kcal/d)} = 85.2 \text{ Kcal/W}_{\text{kg}}^{0.75}$	EM = 2062 Kcal/d
	$\text{PC (g/d)} = 3.5 \text{ g PC/W}_{\text{kg}}^{0.75}$	PC = 85 g/d
Ganancia de peso	$\text{EM (Kcal/d)} = 7.25 \text{ Kcal/g de ganancia}$	EM = 1088 Kcal/d
	$\text{PC (g/d)} = 0.284 \text{ g PC/g de ganancia}$	PC = 43 g/d
Totales	Energía Metabolizable	EM = 3150 Kcal/d
	Proteína Cruda	PC = 128 g/d
Mantenimiento	$\text{IMS} = 45 \text{ g/W}_{\text{kg}}^{0.75}$	IMS = 1089g/d

Fuente: Carmean *et al.* (1994), Huasasquiche (1974), NRC, 1981, Van Saun (2006).

Tabla 5

*Requerimientos diarios de energía y proteína de alpacas machos en crecimiento de 40 Kg de peso y una ganancia de peso de 100 g/día.*

Requerimiento	Modelo de Predicción del requerimiento	Valor calculado
Mantenimiento	EM (Kcal/d) = 71 Kcal/KgW <sub>Kg</sub> <sup>0.75</sup>	EM = 1129.3 Kcal/d
	PC (g/d) = 3.5 g PC/KgW <sub>Kg</sub> <sup>0.75</sup>	PC = 55.7 g/d
Ganancia de peso	EM (Kcal/d) = 5.5 Kcal/g de ganancia	EM = 275.0 Kcal/d
	PC (g/d) = 0.284 g PC/g de ganancia	PC = 14.2 g/d
Totales	Energía Metabolizable	EM = 1471.8 Kcal/d
	Proteína Cruda	PC = 69.9 g/d

Fuente: Flores y Guevara (1994), Huasasquiche (1974), NRC (1981), Van Saun (2006).

Los ensayos en alimentación de llamas y alpacas en condiciones de altura, con una alimentación a diferentes niveles de consumo de MS con 40 g/W<sub>Kg</sub><sup>0.75</sup> en el nivel de mantenimiento, 50 g/W<sub>Kg</sub><sup>0.75</sup> intermedio bajo, intermedio alto 60 g/W<sub>Kg</sub><sup>0.75</sup> y 70g/w<sub>Kg</sub><sup>0.75</sup> en el nivel *ad libitum*, este patrón de alimentación fue para ambas especies (alpacas y llamas) a través de modelos lineales se reporta los requerimiento energéticos para mantenimiento y ganancia (Ramírez, 2017).

### 1.1.7 Digestibilidad del alimento en camélidos

La digestibilidad del alimento, es el segundo factor dietario de interés debido a que define el aporte de nutrientes para el organismo animal (NRC, 2001).

Cañas, (1995) define que el termino digestión es el proceso que sufre cuando el alimento, se encuentra en el tracto digestivo. Por tanto la digestibilidad es la absorción de los nutrientes del alimento en el tracto digestivo, y no aparece en la materia fecal de los animales, estos provienen de dos fuentes: de las dietas y propios de los animales (fluidos digestivos y células descamadas). Por su parte Bautista (2002), indica que la digestibilidad in vivo en llamas y ovinos, son atributos al habito de selectividad, encontrándose mayores coeficientes de digestión para llamas y ovinos.

El tiempo de retención de la digesta es mayor en alpacas que en llamas, sin embargo, 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 alpacas (Sponheimer *et al.*, 2003).

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 nitrógeno (Hintz *et al.*, 1973; San Martín y Bryant, 1989), en otros casos, con similar eficiencia de los forrajes de baja fibra/alto nitrógeno (Florez, 1973; Hintz *et al.*, 1976).

A fin de aclarar esta controversia, Sponheimer *et al.*, (2003) han contrastado la habilidad de los camélidos (alpacas y llamas) y cabras 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 henos c3 fue similar entre camélidos y caprinos; en cambio, los camélidos tuvieron mayor eficiencia que las cabras en la digestión de materia seca de henos 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 rumiantes pecoran.

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 á 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 llamas (Robinson *et al.*, 2006).

### 1.1.8 Componentes forrajeros de la dieta experimental

#### a) La avena (*Avena sativa L.*)

La avena es una planta anual, se cree que su centro de origen sea Asia y el Mediterráneo. Su cultivo ocupa el quinto lugar en el mundo, siendo el cereal forrajero de invierno de mayor importancia en climas fríos y húmedos del hemisferio norte pertenece a la familia de las gramíneas, tiene un tipo de raíz fibrosa bastante numerosa, un tallo erecto cilíndrico, produce un gran número de macollos variando de 5 - 15 por planta según la variedad, las hojas son lineales con láminas que tiene longitud promedio de 25cm y un ancho de 1 hasta 2cm; carecen de aurícula. La inflorescencia es una panoja o panícula laxa y abierta ramificadas. El fruto es una cariósipide o grano algo alargado y puntiagudo en ambos extremos y generalmente vestidos, la cantidad y calidad del forraje depende del estado fenológico óptimo de corte del cultivo forrajero. El estado de floración completa a grano leche es el más adecuado para la siega de avena para

henificación, y el estado grano leche a pastoso para ensilaje. El contenido de proteína total, la palatabilidad, los coeficientes de digestibilidad de materia seca disminuyen en la avena conforme avanza la maduración del grano (Choque, 2005).

El objetivo principal de henificación, es obtener heno de buena calidad, con un contenido de humedad de 15 a 20% para asegurar su buena conservación, mediante adecuado método de pre-secado y almacenamiento, de modo que el forraje henificado conserve su valor nutritivo, palatabilidad y digestibilidad.

**b) La alfalfa (*Medicago sativa L.*)**

La alfalfa es una leguminosa perenne de crecimiento erecto, posee raíz principal pivotante bien desarrollada, puede penetrar profundidades de 2 a 6 metros. Sus hojas son compuestas, abundantes, trifoliadas o multifoliadas. Los tallos son erectos que varían de 10 – 25 por planta que nacen de la corona y de donde también nacen los brotes. Presentan flores moradas, violetas con distintas tonalidades agrupadas en racimos. El fruto es una legumbre, son retorcidos y tienen 1 a 5 espirales, cada legumbre lleva varias semillas pequeñas de forma arriñonada, tiene mayor valor nutritivo de todas las cosechas que se cultivan comúnmente para heno. La alfalfa es muy rica en proteína, rica en minerales y contiene diez vitaminas diferentes por lo menos. La alfalfa constituye un pasto excelente para el pastoreo del ganado vacuno en producción de leche o para engorde de vacunos, ovinos y alpacas. La digestibilidad de materia seca y de nutrientes digestibles totales es alta en el estado de floración y pasado la floración declina su digestibilidad, su aporte energético al igual que la proteína y el caroteno, y aumenta la fibra y la lignina (Choque, 2005).

Las excepcionales características de la alfalfa como forraje para el ganado, su gran palatabilidad hace que los animales aumenten su ingestión de materia seca, que permite la transformación del forraje en una mayor cantidad de producto, como carne, leche, fibra, lana (Avilés, *et al* 2018).

Tanto la producción y la reproducción de alpacas son bajas en condiciones de libre pastoreo en pastizales naturales; uno de los factores que frena esta producción es sin duda la alimentación. Sin embargo la capacidad productiva de la alpaca aumenta significativamente por efecto de la buena alimentación. En este caso, con alfalfa/dactylo, los niveles de productividad obtenidos en alpacas huacaya fueron: capacidad de soporte: 18 unidades alpaca/ha, natalidad 85%, peso

vivo madre al empadre 63Kg, peso vivo destete 31Kg, incremento peso pos – destete 102 gramos/día, peso vellón al año 2.7Kg, diámetro de fibra 28.4 micras y peso carcasa 26Kg. En general las alpacas por ser animales propios del ecosistema alto andino, cuando se provee una mejor alimentación son mejores transformadores de la bioenergía contenido de los pastos cultivados en términos de ganancia de peso vivo, producción de crías y producción de fibra (Choque, 2005).

### c) **Heno**

El heno es la forma más generalizada de conservación de forraje, para ser utilizados como ración suplemento en los periodos críticos nutricionales de los animales; sin embargo, las dificultades para obtener un heno de buena calidad en la región de la Sierra, son inherentes del estado fenológico del cultivo al momento del corte y de la apropiada técnica de henificación (Choque, 2005).

La henificación es una forma de conservar el forraje que reduce la humedad de materia verde hasta un nivel bajo para inhibir la actividad de las enzimas vegetales y microbianas. Durante este proceso el forraje sufre cambios como la reducción en el contenido de agua a un grado no superior del 25 %. El contenido de carotenos decrece conforme la temperatura de almacenamiento aumenta, el contenido de tocoferol. La proporción de azúcares varía en forma inversa a la temperatura de almacenamiento, la materia seca disminuye según el tiempo de almacenamiento y elevación de temperatura y humedad ésta disminución de materia seca (MS) están asociadas a la pérdida de glucosa, sacarosa y fructuosa mientras que los compuestos menos solubles no son afectados (Morrison, 1994).

El heno debe tener características deseables, así es más nutritivo y apetecible para los camélidos. El heno de buena calidad debe reunir las siguientes características:

Color verde del forraje, indica mayor calidad nutritiva y de vitaminas, alto contenido de hojas, dado que en las hojas se encuentra la mayor proporción de proteínas, tallos flexibles, relacionados al tipo de forraje, pureza del heno no debe contener plantas tóxicas, estas alteran su sabor (Astete, 1980).

#### e) Sales minerales

Suplemento mineral con alto contenido de calcio y fósforo, enriquecido con minerales y vitaminas A, D<sub>3</sub> y E. Cubre las exigencias metabólicas requeridas para la reproducción, crecimiento y producción de los animales (Arias, 2016).

Los minerales son compuestos útiles para el organismo animal, por ser constituyentes estructurales, además son activadores de diversas enzimas biológicas, manteniendo y regulando las propiedades físicas del estado coloidal de la materia viva y la regulación del equilibrio ácido básico en la sangre y los fluidos corporales, casi todos los elementos minerales esenciales cumplen una o varias funciones catalíticas en las células y algunos minerales están ligadas firmemente a las proteínas enzimáticas, La escasa disponibilidad de minerales en el suelo afecta a los forrajes restando la concentración de minerales (Solozano, 2010).

#### f) Sal común

Se agrega a las dietas de diferentes especies animales con la finalidad de satisfacer las necesidades de Na y Cl. Puede ser enriquecida con yodo (yoduro de potasio, 1 parte de yodo por 10000 partes de sal). En la formulación de raciones se utiliza de 0.5 a 1.0% (Arias, 2016).

#### 1.1.9 Concentrado fibroso

Los concentrados fibrosos son una estrategia alimentaria para el aprovechamiento de los recursos forrajeros disponibles en la altura, estos se obtienen del procesamiento mecánico (molienda) que rompe los enlaces de lignocelulosa y fractura la estructura cristalina de la celulosa; despolimeriza también las hemicelulosas (Taherzadeh y Karimi, 2008), aumentando su área superficial para la fermentación microbiana y mejorando su digestibilidad (Johnson *et al.*, 1999).

Algunos indican que el procesamiento forrajero puede incrementar la digestibilidad en 30 a 35%, la ganancia de peso en 50% a 100% y es la mejor forma de acceder a la energía y los enlaces de proteína en los forrajes de gramíneas, puesto que las bacterias del rumen inician la digestión desde el interior de la estructura vegetal debido a que el exterior está protegido por la capa de cutícula serosa. Los hongos del rumen juegan un rol importante en esta digestión

dado que digieren la fibra más recalcitrante de los forrajes (Akin y Borneman, 1990).

Por mucho tiempo se han utilizado los concentrados basados en granos como alimentos de elección para incrementar la productividad de los animales, sobre todo en los sistemas de alimentación de rumiantes al pastoreo y forrajeo (Dilon *et al.*, 1997; Kennedy *et al.*, 2003). A raíz de los problemas ambientales, este tipo de este tipo de procesamientos forrajeros se está utilizando para disminuir las emisiones de metano entérico (Holter y Young, 1992; Moss y Newbold , 2000; Ferris *et al.*, 1999), con resultados favorables; sin embargo estos concentrados tienen sus desventajas puesto que disminuyen el pH ruminal, el consumo de forraje y la producción de leche (Stakelum y Dillon, 2003), por lo que ahora ha surgido la suplementación con concentrados fibrosos, como una nueva alternativa para incrementar la producción y disminuir las emisiones de metano entérico en los animales (Farmer *et al.*, 2001).

#### **1.1.10 Ganadería y contaminación ambiental**

El ganado rumiante contribuye con la seguridad alimentaria y nutricional de la población mundial, mediante la transformación de alimentos fibrosos en leche, carne y despojos útiles para la alimentación humana (Randolph *et al.*, 2007), así como en la reducción de la pobreza, sobre todo en los países en vías de desarrollo (Smith *et al.*, 2013); sin embargo, esa importante contribución tiene un alto costo ambiental debido a las emisiones de gases de efecto invernadero, tales como metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), que son responsables del calentamiento global y el cambio climático (IPCC, 2007; 2011; Smith *et al.*, 2013). 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 (FAO, 2009), lo cual significa que la seguridad alimentaria y nutricional de la población mundial tendrá un costo ambiental mucho mayor que actual.

El metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), después del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), son los gases de efecto invernadero (GEI) más importantes debido a su propiedad de capturar los rayos infrarrojos y aumentar las temperaturas próximas a la superficie de la tierra, con impacto sobre el calentamiento global y el cambio

climático (Montzka *et al.*, 2011). Su potencial de calentamiento (o capacidad para atrapar el calor) es 25 y 298 veces mayor que el del CO<sub>2</sub>, respectivamente, en un horizonte de 100 años (Forster *et al.*, 2007). Sus concentraciones atmosféricas están en constante incremento, en 158% y 19%, respectivamente, en los últimos 120 años, y constituyen el 18% (CH<sub>4</sub>) y el 6% (N<sub>2</sub>O) de la fuerza radiactiva global en la atmósfera (sin contar el vapor de agua), habiendo alcanzado la alarmante cifra de 1830 ppb (NOAA, 2013). Los estimados de las emisiones globales de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O de los ecosistemas terrestres durante 1981-2010 fueron de 144 Tg C/año y 12.52 Tg N/año, respectivamente. Las simulaciones mostraron un incremento significativo anual para CH<sub>4</sub> (0.43 Tg C/año) y N<sub>2</sub>O (0.14 Tg N/año), en este período de estudio (Tian *et al.*, 2015).

### 1.1.10 El Metano atmosférico

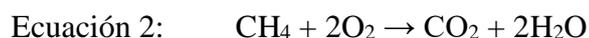
Las fuentes de metano se pueden agrupar en tres categorías: metano biogénico, producido por los microbios (metanógenos) a partir de la descomposición de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas (humedales, rumiantes y cultivo de arroz, depósitos de desechos, etc.); metano termogénico, formado en 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 fósiles (Kirschke *et al.*, 2013). El metano atmosférico (CH<sub>4</sub>) aumentó desde ~900 ppb (partes por billón, o nanomoles por mol de aire seco) en el año 1900 hasta ~1800 ppb en el año 2010 en una tasa sin precedentes en los registros de observación (Ghosh *et al.*, 2015). 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% de la minería del carbón (Turner *et al.*, 2015).

La principal forma de remoción del metano atmosférico es la oxidación por el radical hidroxilo (OH), sobre todo en la tropósfera, la misma que representa el 90% de la remoción global de metano (Kirschke *et al.*, 2013). El proceso incluye una secuencia 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 CO<sub>2</sub> y agua (Seiler, 1974). La tasa de remoción de metano atmosférico

es de 500Tg/año. El radical OH se forma por foto disociación del ozono troposférico (O<sub>3</sub>) por la luz ultravioleta en presencia de vapor de agua (Fiore, 2014). A diferencia del CO<sub>2</sub> cuya vida media es mayor a 100 años, la vida media de una molécula de CH<sub>4</sub> en la tropósfera es de solo 8-12 años, de manera que las reducciones en las emisiones de hoy pueden disminuir las concentraciones en una o dos décadas, un período de 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 metanotrofos, que son las únicas bacterias gram-negativas que pueden utilizar metano como fuente de carbono y energía (Trotsenko y Murrell, 2008). La oxidación por esta vía ocurre en los suelos aireados, donde el CH<sub>4</sub> reacciona con el oxígeno y produce dióxido de carbono y agua (Eq2) (Kirschke *et al.*, 2013), siendo el suelo el mayor sumidero de metano atmosférico.

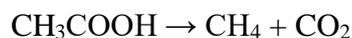
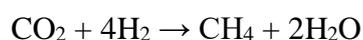


### 1.1.11 Arqueas del rumen

La gran mayoría de los microorganismos del dominio *Archaeobacteria* (arqueas) pertenecen al *Phylum Euryarchaeota*, constituido por las clases *Methanobacteria*, *Methanomicrobia*, *Thermoplasmata* y *Methanopyri* (70.3, 16.4, 7.4 y 0.03%, respectivamente). Dentro de la clase *Methanobacteria*, familia *Methanobacteriaceae* predominan 3 géneros: *Methanobrevibacter*, *Methanomicrobium* y *Methanosphaera* (50, 15 y 13% del total de archaeas, respectivamente), debido a su crecimiento relativamente rápido y su competitividad en la utilización del H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> (Kim *et al.*, 2011). Estas son las únicas arqueas conocidas en el rumen y son responsables de la producción de metano (Tajima *et al.*, 2001). Las Archaeas pertenecientes a los órdenes *Methanobacteriales* y *Methanomicrobiales* se han encontrado asociadas con protozoos de los géneros *Entodinium*, *Polyplastron*, *Epidinium*, y *Ophryoscolex* (Sharp *et al.*, 1998). También se han observado interacciones de diversas especies de metanógenos con hongos anaerobios, como *Neocallimastix frontalis* (Joblin *et al.*, 2002).

Las archaeas metanógenas no utilizan oxígeno para respirar (el oxígeno inhibe su crecimiento), sino carbono como aceptor final de electrones. El carbono puede derivar de un pequeño número de compuestos orgánicos, todos con bajo peso molecular. En términos fisiológicos, hay tres rutas de metanogénesis: (i) a partir de la reducción del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) con hidrógeno (H<sub>2</sub>) (ruta hidrogenotrófica), (ii) a partir de compuestos metilados tales como el metanol y aminas metiladas (ruta metilotrófica), y (iii) a partir de la escisión del acetato (ruta acetoclástica) (Thauer *et al.*, 2008).

Las dos rutas más conocidas involucran el uso de dióxido de hidrogeno y ácido acético (Hook *et al.*, 2010).



Sin embargo, la metanogénesis puede utilizar también carbono de otros compuestos orgánicos pequeños, tales como el ácido fórmico (formato), metanol, metilaminas, dimetil sulfuro y metanotiol, dependiendo del pH y la temperatura. Las arqueas metanógenas son beneficiarias directos del hidrógeno (H<sub>2</sub>) que genera la fermentación de los alimentos por los otros microbios del rumen. La mayoría de especies de metanógenos puede crecer utilizando H<sub>2</sub> y a menudo formato como sus fuentes de energía. Su metabolismo les permite obtener energía por reducción de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) con los electrones que derivan de la oxidación de H<sub>2</sub>, (o formato) produciendo CH<sub>4</sub> (Janssen y Kirs, 2008). Por consiguiente, la metanogénesis disminuye la cantidad de H<sub>2</sub> en el rumen y constituye la principal ruta de remoción de H<sub>2</sub> en el rumen. La información disponible indica que se puede minimizar la metanogénesis disminuyendo la producción de H<sub>2</sub> (disminuyendo el número de productores de H<sub>2</sub> tales como los protozoarios y algunos microorganismos fibrolíticos), inhibiendo la formación de CH<sub>4</sub> y/o redireccionando el H<sub>2</sub> hacia la producción de propionato (incrementando el número y la actividad de los no-metanógenos tales como los utilizadores de H<sub>2</sub>) (Morgavi *et al.*, 2010).

La cantidad de metano producido está estrechamente ligada a la cantidad de alimento ingerido y digerido. La digestión ruminal produce ácidos grasos volátiles, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, amoníaco y calor. Los metanógenos reducen CO<sub>2</sub> a CH<sub>4</sub>, utilizando H<sub>2</sub> como fuente de energía, como último paso de la fermentación entérica. La formación de CH<sub>4</sub> actúa como el sumidero más importante de

electrones que drena el H<sub>2</sub> producido por los microorganismos ruminales (Vargas, 2013). La emisión de metano tiene implicancias tanto nutricionales (pérdida de energía dietaria) como ambientales (gas de efecto invernadero), donde el metano que deriva de la digestión de los pastos templados equivale a 6-7% de la energía bruta del alimento consumido, equivalente a una producción anual de CH<sub>4</sub> de 70-90 Kg de una vaca lactante (i.e. cerca de 250 Kg/ha/año para una carga animal de tres vacas/ha) (Pinares *et al.*, 2009).

### 1.1.12 Protozoos

Los protozoos participan en la fermentación de polisacáridos estructurales de las plantas, obteniéndose productos que son similares a los de las bacterias (AGV, ácido láctico, dióxido de carbono e hidrógeno). Se caracteriza por no crecer en cultivos axénicos, necesitando de la presencia de bacterias para sobrevivir. La dieta puede afectar el pH y el tiempo de renovación del contenido de C1, siendo ambos muy importantes en el establecimiento y crecimiento de la población de los protozoos (Dehority, 2003).

La composición de la población de protozoos del rumen en diferentes especies de rumiantes ha sido estudiada en varias regiones geográficas. No obstante, el conocimiento sobre la distribución de estos microorganismos en CSA es escaso. Las investigaciones sobre protozoos anaerobios en llamas en tres zonas geográficas de Argentina mostraron una concentración de 4-22 x 10<sup>4</sup> protozoos/ml, siendo observados ocho especies del género *Entodinium* y una especie del género *Eudiplodinium* (Cerón *et al.*, 2015b). Del Valle *et al.*, (2008), reportaron la densidad y diversidad de protozoos que se encuentra en la C1 en llamas y alpacas del altiplano boliviano. Reportándose un promedio de protozoos en el C1 de la llama de 39.6 x 10<sup>4</sup> protozoos/ml ( 9.12 a 104.64 x 10<sup>4</sup> ) que fue 3.6 veces menor que en el contenido estomacal de alpacas (143.8 x 10<sup>4</sup> protozoos/ml).

En rumiantes se ha reportado que los protozoos *entodiniomorphidos* tales como *Entodinium longinucleatum*, *Eudiplodinium maggii*, *Entodinium bursa* y *Eremoplastron bovis* tienen adheridos a metanógenos en su superficie externa, presumiblemente a causa del hidrógeno liberado por los hidrogenosomas presentes en los protozoos. En el C1 sucederían estas asociaciones. De esta

manera los metanógenos tienen una relación simbiótica con los protozoos, obteniendo un suministro constante de hidrógeno (Cerón, 2016).

### 1.1.13 Metano entérico

El metano entérico ( $\text{CH}_4$ ) es el gas digestivo más abundante que se genera en el tracto intestinal de los animales herbívoros y constituye la mayor fuente de  $\text{CH}_4$  antropogénico (Knapp *et al.*, 2014). Como producto del trabajo bioquímico de un grupo de microorganismos del dominio Archaea conocidos colectivamente como metanógenos del *phylum Euryarcheota* que viven en el tracto digestivo anterior de los animales rumiantes y el tracto posteríos de los herbívoros (Hook *et al.*, 2010). Con predominio del género *Methanobrevibacter*, un grupo anaerobio estricto, capaz de crecer utilizando  $\text{H}_2$  como fuente de energía y electrones que derivan del  $\text{H}_2$  para reducir  $\text{CO}_2$  a  $\text{CH}_4$  (Janssen y Kirs, 2008).

La alimentación tradicional del ganado en altura se caracteriza por el consumo de forrajes enteros y maduros de alto contenido de fibra. El consumo de forrajes enteros y maduros por el ganado genera altas emisiones de metano con efectos negativos sobre la productividad animal y la salud ambiental (Doreau *et al.*, 2011).

Aproximadamente el 90% del metano emitido por los rumiantes se produce en el rumen y se exhala por la boca y la nariz (Wright *et al.*, 2004). Las emisiones de metano tiene implicancias tanto nutricionales (pérdida de energía dietaría) como ambientales (gas de efecto invernadero), donde el metano que deriva de la digestión de los pastos templados equivale a 6-7% de la energía bruta del alimento consumido, equivalente a una producción anual de  $\text{CH}_4$  de 70-90 Kg de una vaca lactante (Pinares-Patiño, 2014).

La metanogénesis se puede ver afectada por numerosos 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 ambiental (Johnson y Johnson, 1995). El pH ruminal es uno de los principales factores que puede afectar la conformación de la población microbiana y los niveles de ácidos grasos producidos en el rumen. El pH ruminal al cual ciertas funciones son optimizadas puede variar. En el rumen hay dos grandes grupos de bacterias que actúan a varios pH. El de digestoras de fibra, las cuales son más activas a pH de 6,2 a 6,8. Las bacterias celulolíticas y metanogénicas pueden verse reducidas cuando el pH comienza a

caer por debajo de 6. Por su parte, el grupo de los digestores de almidón prefieren un ambiente más ácido a pH de 5,2 a 6 (Ishler *et al.*, 1994).

#### **1.1.14 Patrón diurno de las 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 animal (Martin *et al.*, 2010). 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 tasa de 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 alimentación (Gao *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2015). 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) (Aguerre *et al.*, 2011). Un 90% del metano emitido por los rumiantes se produce en el rumen y se exhala por la boca y la nariz (Wright *et al.*, 2004).

El pH más bajo se registra 1 hora después de la alimentación (Richter *et al.*, 2010). En rumiantes, un 90% de la producción de metano ocurre en el tracto anterior, con la más alta tasa de producción siendo después de la alimentación (Kebreab *et al.*, 2006). 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 recto (Murray *et al.*, 1976). La pérdida rectal de metano es de 7% (Grainger *et al.*, 2007), en vacas comparado al 1% encontrado en ovinos (Murray *et al.*, 1976).

Las vacas lecheras alimentadas con raigrás fresco y grano de cebada producen la mayor cantidad de metano (19g/h) después de la alimentación y la menor producción (8g/h) justo antes de la alimentación (Grainger *et al.*, 2007).

#### **1.1.15 Factores que afectan la metalogénesis**

a) Factor alimenticio y dietario.

La producción de metano principalmente depende de la cantidad y calidad del alimento que afecta la tasa de digestión y la velocidad de paso en el proceso de

fermentación (Van Soest, 1982). Entre los factores más importantes que influyen sobre la cantidad de metano producido y liberado por los rumiantes se encuentran: la cantidad y calidad del alimento consumido, 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.

La manipulación de estos factores puede reducir las emisiones de metano del ganado. Los dos principales factores responsables de las variaciones 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 pasaje (Johnson y Johnson, 1995).

#### b) Factor ambiental.

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 proteína (Van Soest, 1982). Las emisiones de metano por unidad de materia seca digerida es mayor para los rumiantes alimentados con pastos subtropicales (C4) que con pastos de climas templados (C3), lo cual se atribuye al mayor contenido de lignocelulosa de los pastos C4 (Ulyatt *et al.*, 2002).

En conclusión, las emisiones de metano entérico son las 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 calidad (Ominski y Wittenberg, 2004).

#### c) Factor tipo de producción

Algunos autores indican que el sistema de producción así como la raza del animal juegan un papel importante en las emisiones de metano entérico (Pedreira *et al.*, 2009).

En una recopilación realizada por Broucek (2014) se encontraron grandes variaciones en la producción estimada de metano, en dependencia de factores como la categoría animal y su nivel productivo, su peso vivo y estado fisiológico, el genotipo, la ración y el método de estimación.

#### d) Factor de la fisiología digestiva

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) en el rumen. 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 metano.

Otro factor que afecta la producción de metano es la relación de ácidos grasos volátiles (AGV) producidos, lo cual regula la producción de  $H_2$  y la producción de metano. Si la relación acético: 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 acético: propiónico puede variar entre 0.9 a 4, por lo tanto las pérdidas por metano varían ampliamente (Johnson y Johnson, 1995).

En general, los factores que se asocian con un aumento en la tasa de pasaje son los alimentos en el rumen asociados a su vez con una disminución en la cantidad de  $CH_4$  formado por unidad de alimento digerido, también están asociados con un aumento en la proporción de propionato de entre los productos de fermentación en el rumen. Hay una fuerte correlación negativa entre la importancia de la formación de propionato en el rumen y la cantidad de  $CH_4$  producido.

#### e) Factor genético

Además del manejo eficaz de los programas de alimentación, hay varias otras estrategias que sirven para mejorar la productividad animal. 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 productividad.

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 entérico (Boadi *et al.*, 2002). Una considerable variación entre los animales de pastoreo ha sido observada también por otros autores (Ulyatt *et al.*, 2002) quienes estiman que la variación de animal-animal representa del 70% al 85% de la variación en la producción diaria de metano. Esto es impulsado tanto por la demanda de datos para establecer los parámetros genéticos para la producción diaria de metano (DMP) y para verificar las estrategias de mitigación o inventarios de GEI estos aspectos que están siendo activamente investigados para identificar a los animales genéticamente superiores en la eficiencia alimenticia neta y el tiempo medio de retención de la ingesta en el rumen (Hegarty, 2013).

## 1.2 Antecedentes

### 1.2.1 Crecimiento de los camélidos sudamericanos

El peso vivo de los camélidos puede variar ampliamente de un contexto a otro. Los reportes norteamericanos muestran llamas con un peso al nacimiento de 11.60 Kg y un crecimiento curvilíneo que alcanza un peso de 61.05 Kg a las 27 semanas de edad, donde la mayor ganancia de peso se registra a las tres semanas de edad y la menor ganancia (262 g/d) a las 27 semanas de edad (Riek y Gerken, 2007).

La curva de crecimiento, idealizada para llamas y alpacas por Van Saun (2006), muestra una evolución uniforme de los pesos, con ganancias relativamente altas y animales que llegan al peso adulto precozmente a los 36 meses de edad y ganancias de peso de hasta los 400 g/d (Fig. 1).

Los estudios realizados en los contextos andinos, muestran resultados distintos a los reportes norteamericanos. Los experimentos de engorde por ejemplo han reportado que las llamas no desarrollan una curva ideal de crecimiento puesto que los incrementos de peso son relativamente bajos y varían según la edad, estación del año y régimen de alimentación. A 4200 metros de altitud, donde las condiciones térmicas varían desde  $-5^{\circ}\text{C}$  (junio) hasta  $14^{\circ}\text{C}$  (noviembre) las mayores ganancias se observan en animales de dos años (160g/d) que en los de un año (146g/d), en época lluviosa (171 g/d) que en época seca (136 g/d) y con pastos cultivados (190g/d) que con pastos naturales (78 g/d) (García *et al.*, 2002); y que el peso adulto, alcanzan tardíamente recién a los 60 meses de edad (Wurzinger *et al.*, 2005; Southey *et al.*, 2006).

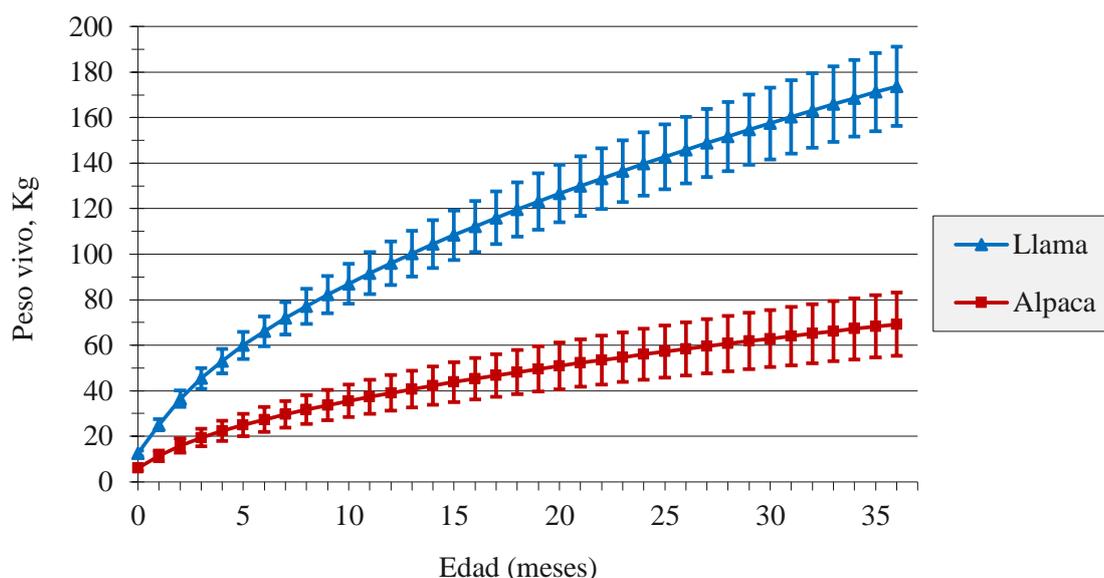


Figura 1. Predicción del peso vivo de llamas y alpacas desde 1 hasta 36 meses de edad

Peso de nacimiento: llamas 12.5 Kg; alpacas 6 Kg (Van Saun, 2006).

El sistema de manejo y la alimentación juegan un papel fundamental en la respuesta de los camélidos. A los 6 meses de edad, las llamas en estabulación tienen mayor ganancia (262 g/d) y mayor peso (79.3 Kg) que las llamas al pastoreo que tienen menor ganancia (116 g/d) y peso (68.5 Kg) (Alvares, 2010).

### 1.2.2 Emisiones de metano en camélidos

La alpaca alimentada con heno de alfalfa en confinamiento selecciona dieta de menor calidad, consume menos alimento ( $g/W^{0.75}$ ), digiere mejor la fibra y produce menos  $CH_4$  (g/d) que el ovino; sin embargo, produce más  $CH_4$  por unidad de consumo de energía (%EBI). En cambio, la alpaca alimentada con pasto de Lotus, produce más  $CH_4$  que el ovino (%EBI). Las mayores tasas de emisión de  $CH_4$  (%EBI) de las alpacas fueron asumidas a la menor tasa de pasaje, como el mecanismo subyacente (Pinares-Patiño *et al.*, 2003).

### 1.2.3 Metodologías para medir las emisiones de metano en rumiantes

El desarrollo de un inventario preciso o la implementación de alguna estrategia de mitigación, requiere como condición básica la precisión en la tecnología de medición de las emisiones de  $CH_4$  entérico. Las emisiones de

metano entérico se han medido como parte de los estudios sobre 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<sub>4</sub>. Las emisiones de CH<sub>4</sub> 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 (Johnson y Johnson, 1995).

Las emisiones de metano entérico se pueden medir por distintos métodos. La elección del método dependerá de la precisión así como de las ventajas y desventajas de cada uno (Johnson *et al.*, 2002; Johnson *et al.*, 2007). La cámara de respiración de circuito abierto (técnica de encierro) es el estándar de oro para las mediciones de metano en rumiantes en sistemas estabulados (Fig. 2). El principio de la cámara de respiración de circuito abierto es la colección y el análisis del aire excretado por el animal (boca, nariz y recto). La cámara es generalmente sellada, la ventilación de la cámara se hace a través de una bomba que al succionar aire hace circular aire a través de la cámara creando una presión inferior a la del ambiente externo. El flujo de la ventilación se mide con bastante exactitud utilizando mediciones de flujo, mientras que una alícuota del aire fresco que ingresa a la cámara y el aire (contaminado) de la cámara es enviado a intervalos frecuentes hacia un analizador de gases para medir la concentración de CH<sub>4</sub>. 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 también está equipada con sensores/medidores de temperatura, humedad relativa y presión atmosférica, que se utilizan para calcular la tasa de ventilación en condiciones de aire seco y temperatura y presión estándar. La medición en cámara de respiración tiene mayor ventaja ya que incluye la producción de gases del tracto posterior.

Murray *et al.* (1976), lograron medir las emisiones de metano del tracto anterior y posterior, así como las rutas de excreción en ovinos alimentados con paja de alfalfa (33 g/hora). La tasa de producción total de metano fue de 21 ml/min; la producción ruminal fue 87% de la producción total; el 95% del metano producido en rumen fue excretado por eructo. Del metano producido en el tracto posterior,

89% fue excretado por los pulmones y 11% por el ano. Muñoz *et al.* (2012), contrastó las emisiones de CH<sub>4</sub> en vacas lecheras, por mediciones simultáneas en cámara de respiración y trazador SF<sub>6</sub>. La emisión del recto corresponde a la diferencia entre CH<sub>4</sub> estimado por la técnica SF<sub>6</sub> en el establo y CH<sub>4</sub> medido en cámara de respiración, la misma que representó el 3% del total de las emisiones de CH<sub>4</sub> de la boca, nariz y recto.

Turner y Thornton (1966), utilizaron una cámara de respiración que utiliza el principio de medición de intercambio de gases en "confinamiento". El sistema es completamente sellado, sin flujo de oxígeno ni dióxido de carbono durante una corrida de una hora de duración y posibilita medir el cambio en la composición del aire (contenido de oxígeno, dióxido de carbono o metano) en función del tiempo. La determinación tiene alta precisión y es altamente sensible a los cambios temporales en el intercambio de gases y constituye una alternativa a los métodos tradicionales descritos que utilizan el principio de circuito abierto o circuito cerrado para la medición del intercambio de gases en los animales domésticos (Pinares y Waghorn, 2012).

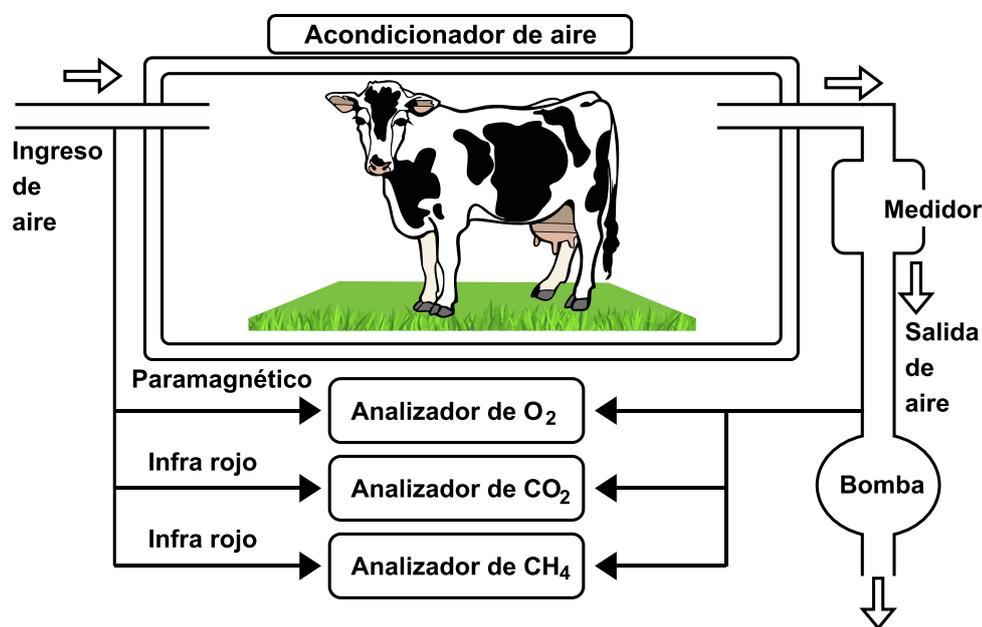


Figura 2. Cámara de respiración de circuito abierto (Bhatta *et al.*, 2007).

El trazador hexafluoruro de azufre (SH<sub>6</sub>) es el método para la estimación de las emisiones de metano entérico del ganado en su ambiente natural, de uso en vacunos (Johnson *et al.*, 1994), ovinos (Lassey *et al.*, 1997), vacunos de carne y leche (Boadi y Wittenberg, 2002), alpacas (Pinares *et al.*, 2003) y ciervos

(Swainson *et al.*, 2011). La técnica fue modificada con dispositivos de colección sobre el dorso del animal (Deighton *et al.*, 2014); sin embargo, tiene sus críticas debido a su carácter invasivo y sobre todo porque SF<sub>6</sub> 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 años (EPA, 2015) y un tiempo de vida en la atmósfera extremadamente largo (800-3200 años) y una acumulación irreversible una vez emitido (Ravishankara *et al.*, 1993). A pesar de su precisión, la técnica SF<sub>6</sub> subestima en 8% las emisiones de metano entérico con relación a la cámara de respiración, debido a que no toma en cuenta las emisiones procedentes de las flatulencias (Grainger *et al.*, 2007).

La espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), es una técnica simple, limpia y no invasiva que podría ser de utilidad para las mediciones de CH<sub>4</sub>, como alternativa a la sofisticada cámara de respiración de aire controlado. La técnica utiliza principios físicos que posibilita analizar con relativa facilidad y rapidez el contenido de los contaminantes del aire; fue evaluada en varias investigaciones y se ha mostrado como una herramienta útil para las mediciones de las emisiones de metano entérico y otros gases en los animales rumiantes (Madsen *et al.*, 2010; Lassen *et al.*, 2012; Haque *et al.*, 2015; Bai *et al.*, 2016), en canguros de cuello rojo (Madsen y Bertelsen, 2012). 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. El equipo monitorea todo el espectro infrarrojo y el sensor FTIR lectura las diferentes huellas digitales de los gases presentes en la muestra de aire que se analiza (Bhatta *et al.*, 2007).

Los resultados egresan en partes por millón por volumen (ppmv) de la concentración del gas H<sub>4</sub> en el aire presente en la cámara de respiración, cuyos valores luego se expresan en unidades de masa (mg, mol) y en unidades de volumen, a través de la ley general de los gases y su respectiva corrección por altitud y presión atmosférica. Las emisiones de metano entérico se expresan en cantidades por día (g/d, mol/d), como proporción del consumo (%EBI), intensidad de emisión (mol/Kg producto) y como equivalente de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

#### 1.2.4 Antecedentes de uso del equipo Gasmeter DX – 4030

(Bäckman *et al.*, 2012). Utilizo el equipo portátil gasmeter DX 4030 basado en mediciones infrarrojas (FTIR) para medir la producción de metano mediante la técnica de CO<sub>2</sub>, que se basa en el CO<sub>2</sub> como gas trazador. Midiendo la proporción de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> a intervalos regulares combinando con la medición del CO<sub>2</sub> total producido diariamente, también se pudo calcular la cantidad de metano producido. La concentración de la proporción de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y la relación de CO<sub>2</sub> entre CH<sub>4</sub> se midió cada dos horas durante un período de 24 horas en el sexto día de cada período de recolección de datos. Los animales se mantuvieron en la cámara durante 15 minutos y los gases se midieron en los últimos 5 minutos.

Las emisiones de metano entérico se determina mediante las mediciones in situ de las concentraciones de metano del aire espirado por los animales experimentales, con un analizador de gases de metano (Gasmeter DX-4030), diseñado para mediciones in situ de diferentes compuestos gaseosos (tanto orgánicos e inorgánicos) a bajas concentraciones en el aire ambiente. Los resultados del análisis de hasta 25 compuestos pre-calibrado se visualizan en la pantalla de un PDA (Personal Digital Assistant). La comunicación entre el módulo analizador y el PDA es inalámbrica (con el protocolo Bluetooth). En la configuración estándar, se pueden monitorizar concentraciones de hasta 15 gases de interés simultáneamente (Gasmeter MR, 2012).

Bhatta *et al.*, (2007) utilizo la cámara de respiración de circuito abierto cuyo principio es la colección y el análisis del aire exhalado por el animal (boca, nariz y recto). 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.

(Muñoz *et al.*, 2012). Utilizo una cámara que está conectada a un sistema de análisis de gases que permite la medición continua de O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>. La medición en la cámara de respiración tiene mayor ventaja ya que incluye la producción de gases del tracto posterior, la misma que representa el 5% de la producción total de metano entérico en ovinos (Murray *et al.*, 1976), o el 3% del total de las emisiones de metano procedentes de boca, nariz y recto en vacas lecheras.

Las cámaras de respiración se utilizan para medir CH<sub>4</sub> a nivel de un animal individual. Su uso es técnicamente exigente, y sólo unos pocos animales se puede monitorizar en cualquier momento (McGinn *et al.*, 2008). Sin embargo, estos sistemas son capaces de proporcionar datos continuos y precisos sobre la composición del aire durante un período de tiempo prolongado (Goopy *et al.*, 2016).

Pari, 2017, utilizo una cámara de acumulación de gases, instalada en su interior el equipo Gasmeter DX 4030 que permitía la medición continua de O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>, donde los animales permanecen por 20 minutos en el interior, para el control de sus mediciones de metano producción por unidad animal, los animales fueron alimentados con concentrado fibroso elaborados de henos de avena y alfalfa 1:1 en cuatro niveles de consumo mantenimiento, intermedio bajo, intermedio alto, *ad libitum*.

Choqueamaní, 2017; Quispe, 2017, midieron las emisiones de gas metano de llamas y alpacas en pastoreo mediante una cámara de acumulación de gases instalada en su interior el equipo portátil analizador de gases Gasmeter DX-4030 Analyser, la medición de los gases O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> fue reportado en su PDA en valores relativos de ppmv los cuales fueron transformados a valores absolutos, sin embargo para determinar el efecto dietario sobre las emisiones de metano entérico se realizó el análisis del bolo alimenticio obtenido por fistula esofágica.

Machaca, 2015 realizó Las mediciones de CH<sub>4</sub> en un ambiente especial de (3.30 m de largo por 2.85 ancho por 2.20 m de alto y un volumen de 20.69 m<sup>3</sup>) acondicionado para el experimento, en el Anexo Quimsachata de la estación experimental ILLPA del Instituto Nacional de Innovación Agraria INIA-Puno a 4300 m.s.n.m. Para registrar las concentraciones de CH<sub>4</sub> en el aire, se utilizó un equipo portátil de medición de gases Gasmeter DX-4030 Analyser. Para el experimento se utilizaron dos dietas fibrosas Grupo A (alimento fibroso ofrecido en forma entera, n=4) y el Grupo B (alimento fibroso ofrecido en forma molida n=4).

## CAPÍTULO II

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 2.1 Identificación del problema

En el 2006, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO) publicó “La larga sombra de la ganadería”, que afirma que la ganadería genera 18% de los gases de efecto invernadero (GEI). Además, menciona el enorme impacto que ha tenido la ganadería en la degradación de suelos, agua y aire. En las regiones altoandinas del Perú, las familias campesinas tienen como sustento económico mayoritario la ganadería, de ello la crianza de camélidos, el problema radica que existe una baja producción y baja tasa de fertilidad como consecuencia de una baja calidad nutricional que los pastos naturales aportan (INEI, 2012).

La formación de metano no solo es un proceso necesario para mantener baja la concentración de  $H^+$  en el rumen, sino también para una eficiente fermentación. Ello se logra mediante la acción de microorganismos metanogénicos Archaea que reducen el  $CO_2$  y producen el metano. En consecuencia, la producción de  $CH_4$  es un proceso intrínseco de la fermentación ruminal la celulosa y polisacáridos ingeridos en la dieta (Montenegro *et al.*, 2018).

La disponibilidad y aporte nutricional de los pastizales altoandinos es variable a lo largo del año, por consiguiente presentan fuertes limitaciones nutricionales y productivas, condicionadas por factores climáticos. La disponibilidad de energía metabolizable es potencialmente deficiente entre noviembre y diciembre, la proteína cruda es insuficiente entre mayo y julio, y tanto la energía metabolizable como la proteína cruda son limitantes entre agosto y octubre (época seca) (San Martín y Van Saun, 2014). Esta variación estacional afecta el valor nutricional y la fisiología digestiva de los animales,

generando diferentes niveles de eficiencia del uso de nutrientes y producción de metano (CH<sub>4</sub>) (Moscoso *et al.*, 2017), sufriendo cambios a nivel celular y estructural, incrementando la cristalización de los carbohidratos estructurales como Celulosa, Hemicelulosa en Lignina (Vargas, 2016), haciéndolo más indigestible así mismo requiere mayor tiempo de fermentación ruminal lo que favorece la liberación de gas Metano (Cordero *et al.*, 2018), por lo que al realizar esta investigación buscamos una alternativa de solución a través del uso de tecnologías implementadas en la alimentación de llamas y alpacas mediante el tratamiento físico de los forrajes a fin de disminuir las producción de metano entérico e incrementar la ganancia de peso y el consumo de alimento.

## 2.2 Enunciados del problema

En tal virtud se plantea las siguientes preguntas.

- ¿Cuál es el efecto del tamaño partícula del forraje sobre el consumo de materia seca en la alimentación de llamas y alpacas?
- ¿Cuál es el efecto del tamaño partícula del forraje sobre la ganancia de peso corporal en la alimentación de llamas y alpacas?
- ¿Cuál es el efecto del tamaño partícula del forraje sobre la producción de metano en la alimentación de llamas y alpacas?

## 2.3 Justificación

El metano es el segundo gas de efecto invernadero más importante en la atmósfera, capaz de atrapar el calor con un poder de 25 veces más que el CO<sub>2</sub> en un horizonte de 100 años, poniendo en grave riesgo la salud de los ecosistemas terrestres (Tian *et al.*, 2015). Los estudios satelitales indican que la producción global de metano es de 539Tg de CH<sub>4</sub> al año, de los cuales 22% deriva de la ganadería (Turner *et al.*, 2015).

Raghavendra *et al.*, (2007), afirman que la fermentación entérica de los rumiantes produce cerca de un cuarto (21 a 25%) del total de las emisiones antropogénicas de CH<sub>4</sub> a nivel global. El ganado rumiante es uno de los mayores contribuyentes de las emisiones de CH<sub>4</sub> en el mundo a nivel de la ganadería (Broucek, 2014).

Los camélidos (llamas y alpacas) son rumiantes de importancia productiva que contribuyen con la seguridad alimentaria de las poblaciones en Sudamérica (Suman y McMillin, 2014); sin embargo, producen metano (Pinares-Patiño *et al.*, 2003;

Dittmann *et al.*, 2014; Dlamini y Dube, 2014). La magnitud de la producción de CH<sub>4</sub> depende del tipo de dieta que consumen, siendo mayor con pastos o forrajes (Harper *et al.*, 1999).

La fibra constituye el substrato metanogénico por excelencia (Moe y Tyrell, 1979), cuyo contenido en la dieta y la digestión en el animal están positivamente correlacionados con la producción de metano (Pedreira *et al.*, 2013).

El proyecto plantea investigar el incremento de la productividad y la disminución de las emisiones de gas metano, mediante el procesamiento forrajero en llamas y alpacas, sobre los 4200 metros de altitud, con perspectivas de desarrollar y estrategias de mitigación.

## 2.4 Objetivos

### 2.4.1 Objetivo general

- Evaluar el efecto del tamaño de partícula del forraje en el consumo, ganancia de peso y producción de metano en llamas y alpacas.

### 2.4.2 Objetivos específicos

- Determinar el consumo de materia seca de las dietas.
- Determinar la ganancia de peso.
- Determinar la producción de metano entérico.

## 2.5 Hipótesis

### 2.5.1 Hipótesis general

- El procesamiento forrajero, tamaño partícula es una estrategia alimentaria para el incremento del consumo de materia seca, ganancia de peso y la disminución de las emisiones de metano en llamas y alpacas.

### 2.5.2 Hipótesis específicos

- El efecto tamaño partícula del forraje tiene efecto positivo sobre el consumo de materia seca y la ganancia de peso.
- El efecto tamaño partícula del forraje tiene relación directa con la producción de metano entérico.

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Lugar de estudio

El experimento se realizó en el Centro experimental La Raya de la Universidad Nacional del Altiplano, ubicada en el Distrito de Santa Rosa, Provincia de Melgar, Región de Puno, a una altitud de 4200 m, en el km 205 de la carretera Puno- Cusco, entre las coordenada 14°30'33'' latitud Sur y 70°57'12'' longitud Oeste (Holgado *et al.*, 1979), durante los meses de Marzo – Junio del año 2018. Con una temperatura anual promedio de 6.20°C (máxima de 14.16°C y mínima de -1.75°C) y una precipitación pluvial de 525.7 mm (SENAMHI, 2018).

El análisis químico de los forrajes se realizó en el Laboratorio de Nutrición y Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, entre los meses de Agosto – Setiembre del año 2018, a una altitud de 3825 msnm, entre las coordenadas de 15°49'34'' Latitud Sur y 70°00'43.5'' Longitud Oeste del Meridiano de Greenwich (SENAMHI, 2009).

#### 3.2 Instalaciones

Se utilizaron 4 jaulas de alimentación de 5 x 3 m, para el confinamiento de los animales durante un periodo de 105 días, construidas con troncos de eucalipto, unidos con pernos metálicos, divididas con mallas metálicas y techo de calamina.

Cámara de acumulación de gases. Se adecuó una estructura cubica de 10 m<sup>3</sup> con una altura de 2 m, largo de 2.5 m y ancho de 2 m, construida con barras de hierro unidas por soldadura y las paredes empotradas con láminas de policarbonato fijadas con tuercas, y recubiertas con cinta autoadhesiva con superficie porosa en las ranuras de las uniones para brindar un cierre en lo posible hermético de la cámara.

### 3.3 Animales

Se utilizó 10 llamas machos de 2 años de edad con peso promedio de  $97.6 \pm 9.9$  Kg y 10 alpacas machos de raza Huacaya de 2 años de edad con peso promedio de  $48.8 \pm 3.8$  Kg, clínicamente sanos, procedentes de la población de llamas y alpacas cabaña Iloketa (5000 m.s.n.m.) del CIP La Raya de la Universidad Nacional del Altiplano. Cuya vegetación predominante son las gramíneas seguidas por las herbáceas, graminoides (cyperáceas y juncáceas), leguminosas y arbustivas (Manrique., *et al* 2018).

El tamaño maestral fue obtenido por el método determinístico (no probabilístico) sujeto a las múltiples limitaciones que el trabajo implica como, animales con peso estandarizado, instalaciones disponibles, alimentación, manejo entre otros (Hernández., 2014).

### 3.4 Alimento y dieta experimental

Se utilizaron dos dietas experimentales, dieta A alimento molido a 12mm de diámetro de tamaño de partícula y dieta B alimento picado a 24mm diámetro de tamaño de partícula ambas dietas experimentales estuvieron conformadas por un concentrado fibroso para llamas y alpacas, elaborados con forrajes heno de avena (*Avena sativa*) y heno de alfalfa (*Medicago sativa*), en una proporción de 1:1 procesados mecánicamente con un molino picador forrajero marca TRAPP modelo TRF-800 para la dieta A y un con picador forrajero marca TRAPP modelo ES – 600, para la dieta B, siguiendo las recomendaciones de (Heinrichs *et al.* 1999), con adición de sales minerales y sal común, formulado según las requerimientos nutricionales para camélidos, estimados factorialmente (Carmean *et al.*, 1992; Van Saun, 2006; Flores y Guevara, 1994), la energía metabolizable de la dieta fue ajustados a partir de la EB del forraje utilizando las conversiones de  $EM= 52.36\%EB$  y  $ED=82\%EB$  (Roque, 2009; Ramirez, 2017).

Tabla 6

*Formula alimenticia y composición química de las dietas experimentales A y B en la alimentación de llamas y alpacas machos, formulado con el programa solver.*

Alimentos	Mezcla	Valor nutricional de la mezcla	
	%	(en 100 % de materia seca)	
Heno de avena	49.8	Energía Metabolizable., Kcal/g	2.178
Heno de alfalfa	49.8	Proteína Cruda, % mín.	12
Suplamin difos	0.2	Fósforo, % mín.	0.30
Sal común	0.2	Sodio, % mín.	0.18
Total	100	FDN, % mín.	51.56

### 3.5 Materiales y equipos

#### 3.5.1 Material de campo

- 25 metros de mallas arpilleras (1m de ancho) para comederos.
- 50 m de driza para sujeción de comederos.
- Pintura esmalte para identificación de los animales (numeración).
- Registro de campo, bolígrafo y tablero para toma de datos.
- Calculadora.
- Reloj para medir el tiempo de emisión de metano entérico.
- Cámara fotográfica digital (24 mpx).
- 8 lavadores para bebedero de llamas y alpacas.
- 4 lavadores para comederos adicionales de los animales.
- 4 lavadores para recojo y pesado de alimentos rechazados.
- Un rollo de manguera con 100 m de  $\frac{1}{2}$  pulgada para suministro de agua.
- Mantas de malla arpillera 3 metros de ancho por 30 metros de largo para separar las dietas experimentales A y B.
- Plástico polivinílico de doble ancho 1.5 m de ancho por 20 metros de largo para proteger alimento de la humedad.
- Sacos para almacenamiento de alimentos procesados.
- 2 Palas para mezclar alimentos.
- Combustible gasolina de 90 octanos, para el funcionamiento del motor de los molinos.
- Aplicador y 5 botes de silicona para sellar la cámara de acumulación de gases.
- Cinta de embalaje para sellar la cámara de acumulación de gases.
- Malla arpillera de 2m de ancho por 3m de largo para tendido de base de la cámara de acumulación de gases.
- Un juego de sojas para el manejo de los animales.
- 1 mesa mediana para registro de los datos.
- Papel bon 80g para elaborar bolsitas de papel para muestras de alimento.
- Bolsas de polietileno para almacenamiento de muestras secas.
- Plumón indeleble para rotular las muestras.
- Materiales para instalaciones eléctricas cable 100m de largo, focos, tomacorrientes, interruptores, etc.

### 3.5.2 Equipos e instrumentos utilizados en el lugar del experimento

#### a) Equipos

- Molino picador forrajero marca TRAPP modelo TRF – 800.
- Picadora forrajera marca TRAPP modelo ES – 600.
- Equipo analizador gas metano (Gasmeter DX – 4030).

#### b) Instrumentos

- Balanza electrónica digital con plataforma metálica con capacidad de 500/0.1 Kg para pesar llamas y alpacas.
- Balanza digital con capacidad de 50/0.01 Kg para pesar alimentos.
- Balanza digital con capacidad de 5/0.01 Kg para pesar muestras de alimentos.
- Termómetro ambiental para registro de temperatura.
- Cinta métrica para medición corporal de los animales.

### 3.5.3 Material de laboratorio

#### a) Materiales

- Vaso de Berzelius de 250ml
- Vaso precipitado de 50 ml, 100 ml y 250 ml.
- Fiala de 100ml, 250ml y 1000ml.
- Probeta graduada de 10ml, 20ml, 50ml.
- Bureta graduada de 50ml.
- Matraz Erlenmeyer de 25ml, 50ml y 100ml.
- Matraz Kitasato de 2000ml.
- Embudo de 45 mm de diámetro.
- Campana de desecación.
- Crisol de 20ml para incineración.
- Varillas de vidrio, pinzas, cucharilla para pesado de reactivos y muestras.
- Piseta
- Papel celulosa
- Papel filtro de poro fino.
- Bolsas de papel bon 80g.
- Papel aluminio

**b) Equipos**

- Balanza analítica con capacidad de 200/0.0001 g para análisis de laboratorio.
- Estufa para desecar las muestras.
- Molino manual.
- Mufla de incineración.
- Extractor Soxhlet.
- Digestor y Destilador Kjeldahl.
- Digestora de fibra.
- Calorímetro de bomba.
- Refrigeradora.

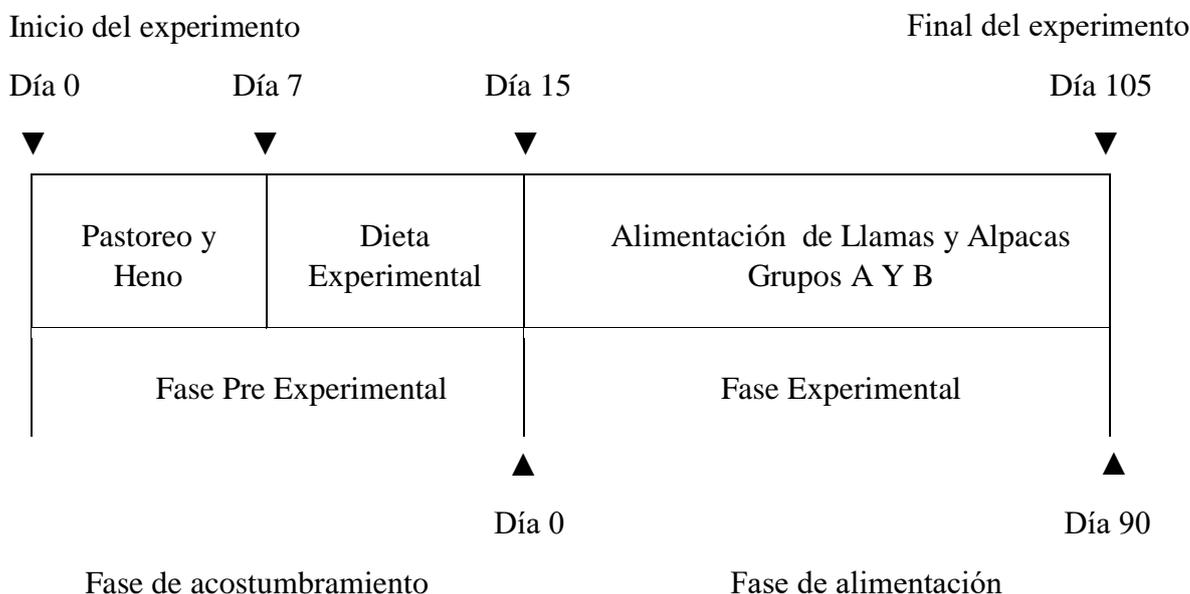
**3.5.4 Reactivos**

- Ácido sulfúrico 1.25%
- Hidróxido de sodio 1.25%
- Ácido bórico 2%
- Lauril sulfato de sodio
- Etileno diamino tetracético (EDTA)
- Tetraborato sodio decahidratado
- Etilen glicol monoetil éter
- Fosfato ácido disódico anhidro
- Decahidronaftaleno (Decalina)
- Sulfito de sodio anhidro
- Carbonato de sodio.
- Alambre de la bomba calorimétrica.
- Rojo metilo y Azul metileno
- Agua destilada.

### 3.6 Metodología

Se utilizaron 10 llamas y 10 alpacas machos de dos años de edad procedentes del CE La Raya-UNA, previa fase de acostumbramiento fueron alimentadas en un sistema de alimentación colectiva (grupal) con una mezcla forrajera elaborados con henos de avena y alfalfa (1:1), con dos dietas experimentales a una altitud de 4,200 m, grupo A con forraje molido y grupo B con forraje picado. Divididos aleatoriamente en dos grupos por especie (Llamas y Alpacas) con cinco animales por grupo para este experimento en alimentación, en un enfoque de investigación experimental para evaluar el consumo de materia seca, ganancia de peso y la producción de las emisiones de metano entérico mediante el uso de forrajes procesados mecánicamente con la finalidad de desintegrar la fibra estructural propia del alimento convirtiéndola en fibra dietaría. Tuvo una duración total de 105 días, de los cuales 15 días para el periodo de acostumbramiento y 90 días de alimentación con concentrado fibrosos (tratamiento mecánico del forraje) y sus respectivas mediciones de la producción de metano.

Tabla 7  
*Cronograma y tiempo de ejecución del trabajo de investigación en alimentación de llamas y alpacas bajo dos regímenes dietarios por efecto tamaño de partícula de los forrajes procesados mecánicamente.*



### 3.6.1 Etapa pre - experimental

#### 3.6.1.1 Manejo experimental de los animales

##### a) Selección de la unidad experimental

Para la ejecución del proyecto de tesis, primero los animales fueron elegidos aleatoriamente y seleccionados por peso de una población de 370 animales machos de dos años de edad tanto en llamas y alpacas que pastoreaban de la vegetación natural en la cabaña lloketa. Luego fueron trasladados al centro de investigación para proseguir con el registro del peso corporal, lo que permitió conocer la condición corporal en que llegaron los animales antes del experimento.

##### b) Periodo de acostumbramiento

El periodo de acostumbramiento es una actividad importante ya que los animales proceden de un sistema pastoril, por lo que su acostumbramiento al manejo en confinamiento fue gradual y sistemático, a fin de minimizar los efectos de la neofobia y estrés (Boogert *et al.*, 2006), para garantizar el bienestar animal, el éxito experimental y la validez de los resultados.

Tuvo una duración de dos semanas, y se realizó en un potrero cercado con malla metálica donde consumieron la vegetación disponible además se suministró agua, heno de avena y alfalfa para que aprendan a consumir forrajes y así evitar cambios bruscos en su dieta que podrían causar algunas alteraciones en el tracto gastrointestinal y su fisiología digestiva.

Los dos primeros días las alpacas no mostraron interés por los forrajes mientras que las llamas desde el primer día empezaron a probar el heno, al tercer día dos alpacas empezaron a picar el heno, mientras que las llamas ya consumían heno en su gran mayoría, para la segunda semana el consumo fue masivo en llamas y alpacas. Luego los animales fueron trasladados a sus cubículos para que consuman su alimento en comedero y bebederos donde se administró heno entero de avena y alfalfa a medida que fueron aprendiendo se suministró heno procesado mecánicamente a razón de 2 Kg/animal para llamas y 1 Kg/animal para alpacas.

A la segunda semana el consumo era a plenitud y es el momento oportuno para dar inicio la fase experimental. También se realizó la desparasitación de los animales con prosantel a una concentración del 12% a dosis que indica el fabricante.

### c) Distribución de animales

Las 10 llamas y 10 alpacas fueron distribuidas de forma aleatoria en 2 grupos por especie, formando cuatro sub grupos en total y cada grupo conformado por 3 animales, como se detalla en la tabla 8.

Tabla 8

*Distribución de las llamas y alpacas según grupo experimental.*

Grupos	GRUPO A		GRUPO B	
Dietas	A (12mm $\phi$ de tamaño de partícula)		B (24mm $\phi$ de tamaño de partícula)	
Especies	N°	N° Arete	N°	N° Arete
Llamas	1A	16LL033E	1A	16LL053E
	2A	S/A	2A	16LL013E
	3A	S/A	3A	16LL047E
	4A	16LL023F	4A	16LL032E
	5A	16LL024E	5A	16LL009E
Alpacas	1A	16H784F	1A	16H158E
	2A	16H607F	2A	16H648F
	3A	16H102E	3A	16H635F
	4A	16H522F	4A	16H160F
	5A	16H512F	5A	16H601F
Total	10 Animales por grupo		10 Animales por grupo	

### 3.6.2 Etapa experimental

A partir del día 15 se dio inició la fase experimental de alimentación, con la asunción de que los camélidos colaboran de sobremanera en los trabajos experimentales cuando son debidamente acostumbrados al manejo en confinamiento (Roque, 2009; Lund *et al.*, 2012).

Así mismo se realizó el registró del peso corporal al cual denominamos como peso inicial, este dato permitió evaluar la ganancia de peso al final del experimento en la alimentación de llamas y alpacas.

#### 3.6.2.1 Alimentación.

Las 10 llamas y 10 alpacas fueron alimentados con un concentrado fibroso elaborados a base de henos de avena y alfalfa en una proporción de 1:1 procesados mecánicamente y con dos dietas experimentales, Grupo A; a 12 mm de diámetro y Grupo B; a 24 mm de diámetro del tamaño partícula forrajero, ofrecidos a un nivel de consumo a libre disposición (*ad libitum*) en un sistema de alimentación colectiva a fin de evitar el estrés e incentivar el mayor consumo de materia seca (CMS) alojados en confinamiento, con mínima actividad física y ambiente termoneutral (10.2 °C) suministrados en un comedero grupal en forma

de canaleta y en tres fracciones la primera a las: 7:00 de la mañana 40%, la segunda a las 12:00 del mediodía 30% y la última a las 4:00 de la tarde 30%, del total de alimento pesado para cada grupo tanto en llamas y alpacas, este procedimiento de fraccionar la ración se realizó con la finalidad de maximizar el consumo del alimento y reducir la cantidad de alimento rechazado. De igual forma se ofreció agua limpia y fresca a voluntad (*ad libitum*) en dos lavadores de 30 litros que se utilizaron como bebederos.

### 3.6.2.2 Estimación del alimento ofrecido

Para establecer cuanto de alimento se debe de ofrecer a cada animal y a cada grupo por su respectiva especie se tuvo que estimar la cantidad de alimento a suministrar por grupo y por especie, para el caso de las llamas grupos A y B la estimación estuvo sujeto a un nivel de consumo de alimento de  $67g/W_{Kg}^{0.75}$  (nivel de alimentación *ad libitum*) Tablas, 9,10, de igual forma para las alpacas grupos A y B fue ajustado a un nivel de consumo de alimento de  $60g/W_{Kg}^{0.75}$ . (nivel de alimentación *ad libitum*) Tablas, 11,12. Estos ajustes se realizaron en base a los ensayos experimentales de trabajos anteriores en alimentación de camélidos en condiciones de altura (Ramírez, 2017).

Así mismo para cumplir el nivel de consumo *ad libitum*, con alimento a libre disposición se agregó una determinada cantidad de alimento adicional a las cantidades de alimento estimado a fin de evitar deficiencia y restricción del alimento ofrecido, ya que la estimación se realizó con datos experimentales (Ramírez, 2017),

La adición de alimento estuvo sujeto a la cantidad final de alimento a ofrecer, la humedad presente en el alimento y el consumo que mostraban los animales para cada dieta experimental, en el caso de llamas se ofreció un máximo de 14 Kg/día/grupo en el grupo A y 15 Kg/día/grupo B de alimento tal cual. Lo que significa un aproximado de 2.8 Kg/animal para el grupo A y 3.0 Kg/animal para el grupo B

Para el caso de alpacas se ofreció un máximo de 7 Kg/día/grupo de alimento tal cual. Lo que significa un aproximado de 1.4 Kg/animal, considerando la humedad ( $H^{\circ}$ , %) de las dietas experimentales 10% y 8% respectivamente para las dietas A y B respectivamente. A partir de esa base se fue ajustando la cantidad de alimento ofreció en el período de alimentación conforme evoluciona la ganancia de peso hasta llegar a la ración máxima.

Tabla 9

*Estimación de alimento a ofrecer para llamas del grupo A.*

N°	ARETE	PESO			CMS/día; H° 10 %.	
		(Kg)	$W_{Kg}^{0.75}$	$g/W_{Kg}^{0.75}$	Kg/día MS	Kg/día MF
1A	16LL033E	92.2	29.75	67	1.99	2.22
2A	S/A	87.8	28.68	67	1.92	2.14
3A	S/A	114.6	35.03	67	2.35	2.61
4A	16LL023F	110.8	34.15	67	2.29	2.54
5A	16LL024E	90.0	29.22	67	1.96	2.18
Alimento estimado a ofrecer					10.51	12.45

Tabla 10

*Estimación de alimento a ofrecer para llamas del grupo B.*

N°	ARETE	PESO			CMS/día; H° 8 %.	
		(Kg)	$W_{Kg}^{0.75}$	$g/W_{Kg}^{0.75}$	Kg/día MS	Kg/día MF
1B	16LL053E	105.4	32.90	67	2.20	2.45
2B	16LL013E	93.8	30.14	67	2.02	2.24
3B	16LL047F	106.2	33.08	67	2.22	2.46
4B	16LL032E	103.4	32.43	67	2.17	2.41
5B	16LL009E	107.8	33.46	67	2.24	2.49
Alimento estimado a ofrecer					10.85	12.54

Tabla 11

*Estimación de alimento a ofrecer para alpacas del grupo A.*

N°	ARETE	PESO			CMS/día; H° 10 %.	
		(Kg)	$W_{Kg}^{0.75}$	$g/W_{Kg}^{0.75}$	Kg/día MS	Kg/día MF
1A	16H784F	51.6	19.25	60	1.16	1.28
2A	16H607F	46.8	17.89	60	1.07	1.19
3A	16H102E	50.2	18.86	60	1.13	1.26
4A	16H522F	47.4	18.06	60	1.08	1.20
5A	16H512F	49.4	18.63	60	1.12	1.24
Alimento estimado a ofrecer					5.56	6.18

Tabla 12

*Estimación de alimento a ofrecer para alpacas del grupo B.*

N°	ARETE	PESO			CMS/día; H° 8 %.	
		(Kg)	$W_{Kg}^{0.75}$	$g/W_{Kg}^{0.75}$	Kg/día MS	Kg/día MF
1B	16H158E	49.8	18.75	60	1.12	1.25
2B	16H648F	54.8	20.14	60	1.21	1.34
3B	16H635F	49.4	18.63	60	1.12	1.24
4B	16H160F	48.4	18.35	60	1.10	1.22
5B	16H601F	47.2	18.01	60	1.08	1.20
Alimento estimado a ofrecer					5.63	6.26

### 3.6.2.4 Composición química del alimento

Las dietas suministradas para cada grupo experimental fue la misma en composición química, variando solamente en el tamaño de partícula del forraje con 12 mm de diámetro para el grupo A y 24 mm de diámetro para el grupo B en llamas y alpacas respectivamente, con la asunción de que el efecto del tamaño partícula del forraje influye en el nivel de consumo de alimento (MS), ganancia de peso y la producción de metano entérico.

El análisis químicos del alimentos (avena y alfalfa) que se muestran en las tablas 13 y 14, son los resultados obtenidos en el Laboratorio de Nutrición y Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, siguiendo los métodos oficiales de la AOAC, la energía bruta se determinó con el calorímetro de bomba (Parr 1341<sup>®</sup>, USA). La energía metabolizable se estimó con el factor de corrección de  $EM=52.36\%EB$  y finalmente se promedió ambos grupos 12 y 24 mm  $\phi$ ;  $EM = 2,178.0$  Kcal/Kg MS.

Tabla 13

*Análisis químico de la dieta del grupo A forrajes molidos a 12 mm de diámetro de tamaño de partícula.*

Alimento	H°	PC	EE	FDN	CT	CNF	EB	EM
	%	%	%	%	%	%	Kcal/Kg MS	Kcal/Kg MS
Avena	9.8	8.4	4.6	54	8.0	24.9	4209.4	2204.0
Alfalfa	10.2	16	5.4	45.3	10.7	22.7	4127.8	2161.3
Promedio	10	12.2	5.0	49.7	9.4	23.8	4168.6	2182.7

Tabla 14

*Análisis químico de la dieta del grupo B forrajes molidos picados a 24 mm de diámetro de tamaño de partícula.*

Alimento	H°	PC	EE	FDN	CT	CNF	EB	EM
	%	%	%	%	%	%	Kcal/Kg MS	Kcal/Kg MS
Avena	6.6	8.3	5.5	55.3	8.2	22.7	4190.7	2194.3
Alfalfa	9.4	16.1	5.6	46.4	10.0	21.9	4112.2	2153.1
Promedio	8.0	12.2	5.6	50.9	9.1	22.3	4151.5	2173.7

### 3.6.2.5 Determinación del consumo de materia seca.

Como los animales fueron alimentados en un sistema de alimentación colectiva, además que se agregó una cantidad de alimento adicional a la cantidad estimada de alimento ha ofrecido en cada grupo a fin de evitar la restricción al consumo de alimento y no conocer la cantidad de alimento que ingirió por cada animal independientemente en sus respectivos grupos experimentales.

El consumo de materia seca (CMS) se determinó mediante la ecuación del balance de energía que se utilizó como base de cálculo para el estudio, es la relación de tres componentes;  $EM = PC + RE$  Donde; EM es la energía metabolizable, PC la producción de calor, RE la retención de energía.

A partir de esta ecuación, se determinó la cantidad de consumo de materia seca por cada unida de estudio independientemente, consideradno los requieimnitos energéticos establecidos en ensayos experimentales anteriores ajustados en condiciones de altura, cuando la retención de energía es cero ( $RE = 0$ ), la energía metabolizable, es igual a la producción de calor ( $EM = PC$ ). La producción de calor en retención cero de energía, estima el requerimiento de energía metabolizable de mantenimiento (EMm). Generando las siguientes ecuaciones para requerimiento energéticos de mantenimiento y ganancia en ambiente termoneutral con mínima actividad física para llamas y alpacas.

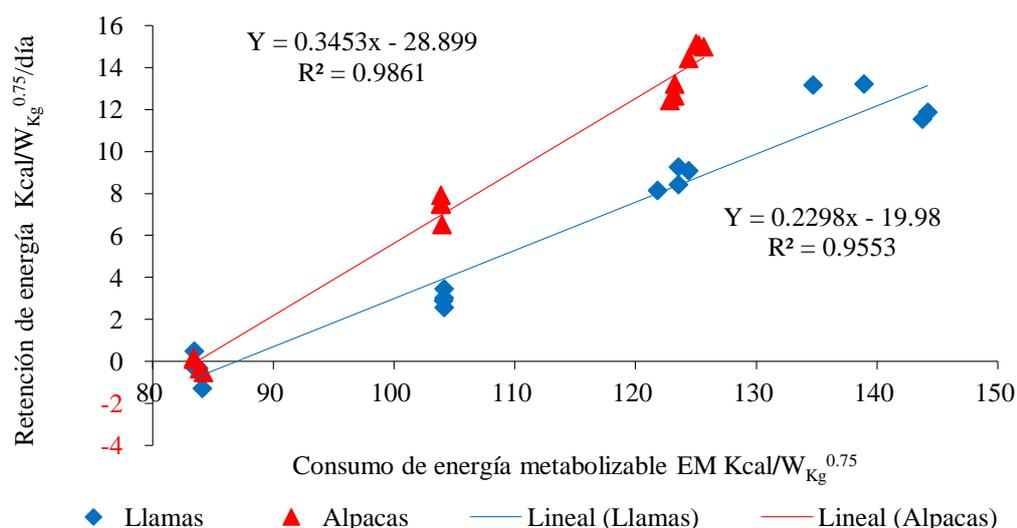


Figura 2. Regresión lineal simple de la retención de energía (RE, kcal/W<sub>Kg</sub><sup>0.75</sup>), sobre el consumo de energía metabolizable (EM, kcal/W<sub>Kg</sub><sup>0.75</sup>) para llamas y alpacas (Ramírez, 2017).

La regresión lineal simple de la retención de energía (RE, kcal/W<sub>Kg</sub><sup>0.75</sup>), sobre el consumo de energía metabolizable (EM, kcal/W<sub>Kg</sub><sup>0.75</sup>) para llamas y alpacas, generó la siguientes ecuaciones (Figura 2).

(Ecuación 1)  $RE = 0.2298 EM - 19.98; R^2=0.9861$

(Ecuación 2)  $RE = 0.3453 EM - 28.89; R^2=0.9553$

A partir de la ecuación del balance de energía, cuando la retención de energía es cero ( $RE = 0$ ), la energía metabolizable, es igual a la producción de calor ( $EM = PC$ ). La producción de calor en retención cero de energía, estima el requerimiento de energía metabolizable de mantenimiento ( $EMm$ ). En la ecuación de la regresión lineal (Ecuación. 1 y Ecuación 2), en retención cero de energía,  $EM$  es el cociente entre el intercepto y la pendiente de la regresión para las llamas es de ( $EM=19.98/0.2298$ ); para las alpacas es de ( $EM=28.899/0.3453$ ); estos valores, expresan la producción de calor del animal en balance de energía o equilibrio, el cual corresponde al requerimiento de energía metabolizable de mantenimiento ( $EMm$ ).

$$\text{(Ecuación 2 Llamas)} \quad EMm, \text{ kcal/d} = 86.945 \text{ Kcal/W}_{\text{kg}}^{0.75}$$

$$\text{(Ecuación 2 Alpacas)} \quad EMm, \text{ kcal/d} = 83.692 \text{ Kcal/W}_{\text{kg}}^{0.75}$$

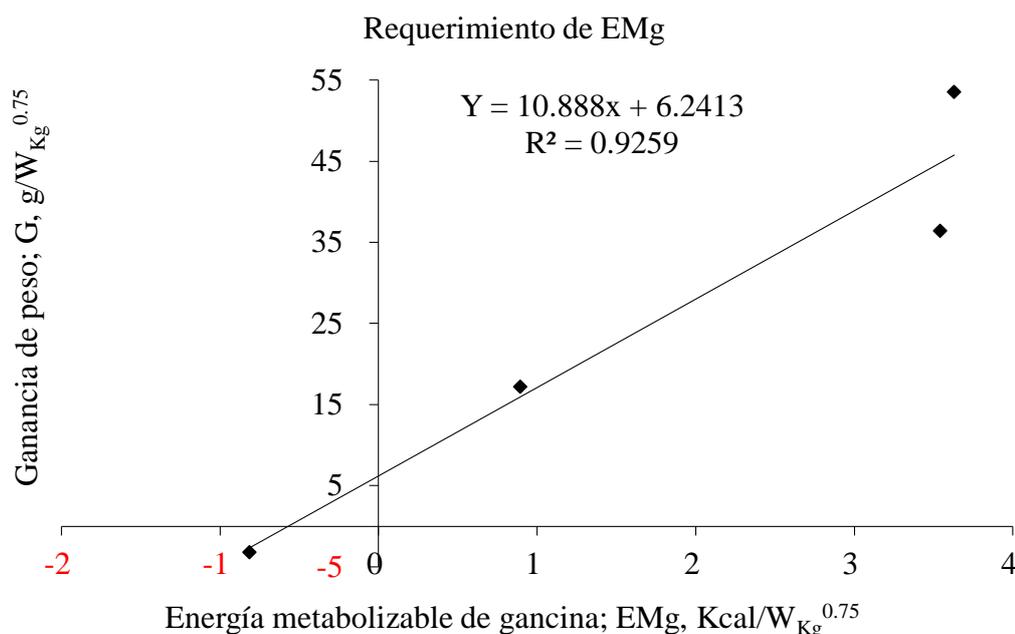


Figura 3. Regresión de la energía metabolizable de ganancia ( $EM_g$ , kcal/W<sub>kg</sub><sup>0.75</sup>) sobre la ganancia de peso ( $G$ , g/W<sub>kg</sub><sup>0.75</sup>), Ramírez, 2017.

Mediante regresión lineal simple se generó la ecuación del requerimiento de energía metabolizable de ganancia ( $EM_g$ ) para llamas y alpacas, (Abate, 1989; Luo *et al.*, 2004). En consecuencia se considera que por cada gramo de ganancia se requiere  $EM_g = 10.88 \text{ Kcal/g}$ .

$$\text{(Ecuación. 3)} \quad EM_g, \text{ kcal/d} = 10.888 G + 6.2413; \quad (R^2 = 0.9259)$$

Tabla 15

*Modelos de requerimientos energéticos diarios para llamas y alpacas machos en crecimiento, obtenidos en ensayos experimentales en condiciones de altura.*

Especie	Ecuación	Requerimiento	Modelo
Llamas	Producción de calor	Mantenimiento	$EM_m = 86.95 \text{ Kcal/W}_{Kg}^{0.75}$
Alpacas	Producción de calor	Mantenimiento	$EM_m = 83.69 \text{ Kcal/W}_{Kg}^{0.75}$
Llamas/Alpacas	Retención de energía	Crecimiento	$EM_g = 10.88 \text{ Kcal/g}$

Fuente: (Ramírez y Roque 2017).

### 3.6.2.6 Determinación de la ganancia de peso

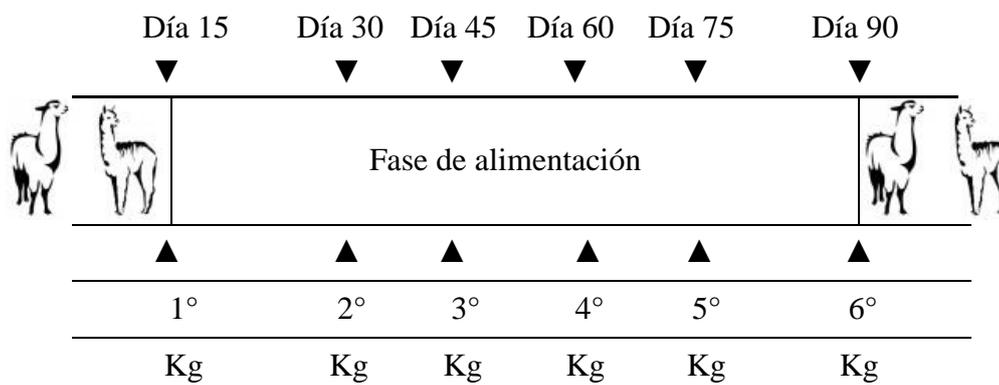
La respuesta animal se determinó mediante la evaluación de la ganancia de peso corporal de los animales en la fase de alimentación, el monitoreo del peso corporal de los animales se evaluó en tres oportunidades inicio, durante y final del proceso experimental, sin embargo para tener un mejores detalle sobre la evolución de la ganancia de peso la medición se realizó a los 30 días después del peso inicial en el primer mes y cada 15 días 2 veces por mes en los dos últimos meses (hasta cumplir con los 90 días de alimentación), para ello se utilizara una balanza digital de plataforma con capacidad de 500/0.1 Kg de sensibilidad instaladas y adecuada estratégicamente para cumplir con los propósitos deseados en la fase experimental.

La ganancia de peso se determinara en gramos por día realizando la diferencia entre el peso vivo final menos el peso inicial dividido entre el número de días que duró la fase de alimentación, como se muestra en la siguiente formula.

$$g/día = \left( \frac{\text{Peso final(Kg)} - \text{Peso inicial(Kg)}}{\text{Fase de alimentacion (días)}} \right) \times 1000$$

Tabla 16

*Evaluación cronológica para el monitoreo de la ganancia de peso en llamas y alpacas.*



### 3.6.2.7 Determinación de la producción de metano

La producción de metano ( $\text{CH}_4$ ) de llamas y alpacas se determinó por el método de medición directa de corto plazo en una cámara de acumulación de gases de  $9.8 \text{ m}^3$  (Patra, 2016), por la técnica de espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) (Teye *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2014; Madsen *et al.*, 2010; Lassen *et al.*, 2012), con un analizador portátil de gases Gasmeter DX-4030, (Gasmeter Technologies Oy, Helsinki, Finland). Las mediciones se realizarán 2 veces por animal/día; la primera medición fue a las 6:00 am antes del suministro de alimento y la segunda medición fue a las 18:00 pm, 2 horas después de la alimentación, con la succión que la mayor producción de metano por acción de la fermentación ruminal ocurre entre las 2 a 4 horas después del consumo de alimento (Johnson *et al.*, 1994).

El equipo previa calibración con aire atmosférico seco de la cámara, se instaló en el interior de una cámara hermética de acumulación de gases de  $9.8 \text{ m}^3$  de volumen, con el sensor (nariz electrónica) ubicado a 1.60 m de altura del piso, donde los animales ingresaron al interior de la cámara en forma individual previa fase de acostumbramiento, para el monitoreo de las concentraciones de metano en el aire respirado, donde permanecieron por un tiempo de 20 minutos, las concentraciones de metano entérico fueron controlados desde el exterior de la cámara a través del sistema inalámbrico (Bluetooth) desde un Personal digital assistant (PDA).

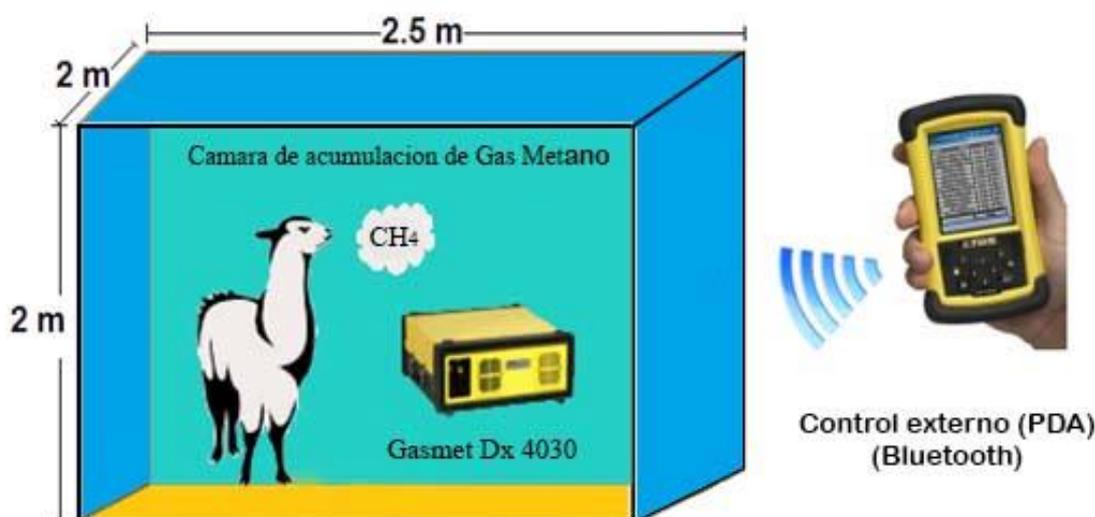


Figura 4. Cámara de acumulación de gases del aire respirado y el equipo Gasmeter DX 4030.

La composición de aire presente en el interior de la cámara de acumulación de gases, se analizó y registro cada 5 minutos, 4 veces por sesión en cada animal (minuto 5, 10, 15 y 20), tomándose como dato final la medición del minuto 20, con la asunción de que el animal es la única fuente productora de metano (Broucek, 2014) y que el CH<sub>4</sub> como lo establece la primera ley de Fick, fluye desde una región de alta concentración hacia una región de baja concentración (Jaynes y Rogowski, 1983), con un coeficiente de difusión de 0.2168 m<sup>2</sup>/s en el aire, a 298.2°K y 1 atm de presión (Cowie y Watt, 1971), de manera que el gas se difundirá en toda la cámara en pocos segundos.

Luego de retirar al animal del interior de la cámara, los gases fueron expulsados por ventilación mecánica forzada durante 10 minutos, hasta la disipación total, para que no afectara la medición de metano del siguiente animal. Los datos de la concentración de metano se reportaba en la pantalla del PDA, en la unidad de partes por millón en volumen (ppmv) de CH<sub>4</sub> en el aire de la cámara.

#### a) Conversión de ppmv a miligramos por metro cúbico de metano producido

La concentración relativa de metano expresada en partes por millón en volumen (ppmv) fue convertida en concentración absoluta de metano expresada en miligramos por metro cúbico (CH<sub>4</sub>, mg/m<sup>3</sup>) de aire presente en la cámara de acumulación de gases, considerando la cantidad de ppmv, constante de gases, la temperatura registrada en la altura y tomando en cuenta el peso molecular del metano 16.04246 g/mol (EPA, 2015), dicho conversión se realizó mediante la siguiente fórmula (Beychok, 2005)

$$\text{CH}_4, \text{mg/m}^3 = \frac{\text{ppmv} * 12.187 * M}{(273.15 + ^\circ\text{C})}$$

Donde:

CH<sub>4</sub>, mg/m<sup>3</sup>: Concentración absoluta de gases, en miligramos de metano por metro cúbico del aire presente en la cámara.

Ppmv = Concentración de metano en partes por millón en volumen en el aire de la cámara.

12.187 = Valor de la constante universal de los gases (o constante de proporcionalidad o inversa de la constante de la Ley Universal de los gases).

$M$  = peso molecular de metano (g/mol).

$^{\circ}\text{C}$  = temperatura registrada en el ambiente.

El volumen de la cámara de acumulación de gases ( $V_c$ ) es de  $9.795\text{m}^3$  ( $1.93\text{m} \times 2.50\text{m} \times 2.03\text{m}$ ), lo cual se estimó a través de la siguiente fórmula:

$$V_c = A \times L \times h$$

Donde:

$V_c$ : Volumen de la cámara ( $\text{m}^3$ )

$A$ : Ancho de la cámara (m)

$L$ : Largo de la cámara (m)

$h$ : Altura de la cámara (m)

#### **b) Determinación del volumen corporal de los animales**

Puesto que los animales se caracterizan por tener masa y volumen (Chang *et al.*, 2012), fue necesario restar el volumen corporal del animal del volumen total de la cámara de acumulación de gases.

Dado que los animales tienen masa y volumen, fue necesario estimar su volumen corporal ( $V_c$ ) a partir de sus medidas corporales, con adecuación al volumen del cilindro adaptada para CSA utilizando la siguiente ecuación (Paputungan *et al.*, 2015)

$$V_a = \pi r^2 h$$

Donde:

$V_a$  = volumen corporal del animal

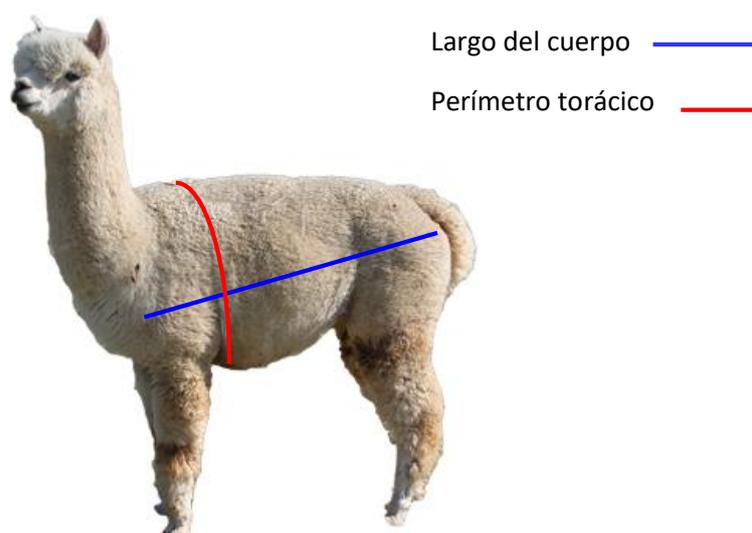
$\pi = 3.1416$

$r$  = radio (perímetro torácico,  $C = 2\pi r$ )

$h$  = altura (largo corporal)

El radio se dedujo de la fórmula de la circunferencia ( $C = 2\pi r$ ,  $r = C/2\pi$ ), que en este caso corresponde al perímetro torácico del animal (cm), medido desde la parte más alta de la cruz, pasando justo por detrás del miembro anterior. La altura

está representada por el largo del cuerpo (cm), medido desde la punta del hombro (tuberosidad humeral), hasta la punta de nalga (tuberosidad isquiática), a efectos de calcular el volumen corporal de los animales en centímetros cúbicos (cm<sup>3</sup>) (Figura 1), luego convertido en litros y en metros cúbicos (m<sup>3</sup>). El registro de las dimensiones del cuerpo fue tomado por las mañanas y junto a ello se registraron los pesos vivos de los animales (Kg) con una balanza electrónica de plataforma.



*Figura 5.* Medidas corporales para alpacas y llamas

La producción total de metano entérico de las llamas y alpacas que se midieron en el interior de la cámara de acumulación de gases al minuto 20 en mg, corresponde al producto de la concentración absoluta del gas (mg/m<sup>3</sup>) y el volumen total del aire (V<sub>c</sub> – V<sub>a</sub> en m<sup>3</sup>) presente en la cámara (Broucek, 2014), siendo la siguiente ecuación:

$$\text{mg, CH}_4/\text{VFC} = \text{mg/m}^3, \text{CH}_4 * (\text{V}_c - \text{V}_a)$$

Donde:

mg, CH<sub>4</sub>/VFC: Miligramos de metano entérico por volumen final de la cámara

mg/m<sup>3</sup>, CH<sub>4</sub>: Miligramos de metano por metro cúbico

V<sub>c</sub>: Volumen de la cámara de acumulación de gases

V<sub>a</sub> = Volumen corporal del animal.

Para determinar la producción total de metano ( $\text{CH}_4$ ) en expresado en gramos/día (g/d) se empleó la siguiente fórmula:

$$\text{g/d, CH}_4 = \frac{(\text{mg, CH}_4/\text{VFC}) * 3 * 24}{1000}$$

Donde:

g/d,  $\text{CH}_4$ : Producción de  $\text{CH}_4$  entérico gramos por día

mg,  $\text{CH}_4/\text{VFC}$ : Miligramos de  $\text{CH}_4$  entérico por volumen final de la cámara.

Para hallar la emisión total de  $\text{CH}_4$  en moles/día (m/d), se consideró el peso molecular del  $\text{CH}_4 = 16.04246$  g/mol (EPA, 2015), empleándose la siguiente ecuación:

$$\text{mol/d, CH}_4 = (\text{g/d, CH}_4)/16.04246$$

Done:

mol/d,  $\text{CH}_4$ : Producción de  $\text{CH}_4$  entérico moles por día

g/d,  $\text{CH}_4$ : Producción de  $\text{CH}_4$  entérico gramos por día

De manera que el volumen total de la producción de metano en litros/día (L/d) se estimará de acuerdo a la siguiente fórmula.

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

Donde:

n = Producción de  $\text{CH}_4$  moles por día (mol/d,  $\text{CH}_4$ ).

R = constante universal de los gases (62.4mmHg\*L/mol).

T = temperatura absoluta en Kelvin ( $^{\circ}\text{K}=273.15 + ^{\circ}\text{C}_h$ ).

$P_h$  = presión atmosférica en altitud 4,200 m (450.29mmHg).

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

### 3.7 Análisis estadístico.

#### 3.7.1 Estadística descriptiva

Mediante el análisis descriptivo se determinó las medidas de tendencia central y dispersión (promedio y desviación estándar, respectivamente), para los diferentes parámetros y variables de estudio.

#### 3.7.2 Diseño experimental

Los resultados obtenidos del consumo de materia seca, ganancia de peso y producción de metano se analizaron a través del análisis de varianza (ANOVA), bajo un diseño completo al azar con arreglo factorial 2 x 2 en diseño, con dos especies (Llamas y Alpacas) y dos tratamientos grupo A alimento molido a 12 mm  $\phi$  y grupo B alimento picado 24 mm  $\phi$  de tamaño partícula del forraje (n=5), cuyas medias fueron analizados utilizando el programa vassarstats, sujeto a los principios de aleatoriedad, repetición y control local del error experimental y los supuestos de normalidad de errores, independencia de los unidades experimentales y homogeneidad de varianzas, según el siguiente modelo aditivo lineal fijo, aun nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$  (Kuehl, 2001):

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

$\mu$  : Media general

$\alpha_i$  : Efecto del factor especie

$\beta_j$  : Efecto del factor dieta experimental

$\alpha\beta_{ij}$ : Efecto de la interacción de factor A y B

$\epsilon_{ijk}$  : Error experimental

## CAPÍTULO IV

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## 4.1 Consumo de materia seca en llamas y alpacas

El consumo de materia seca para llamas fue de  $2.240 \pm 0.368$  Kg/día y  $2.675 \pm 0.368$  Kg/día. Lo que significa un promedio de 2.06 %, 2.27 % del peso vivo y un  $66.69 \text{ g/W}_{\text{Kg}}^{0.75}$ ,  $74.90 \text{ g/W}_{\text{Kg}}^{0.75}$  y para alpacas fue de  $1.161 \pm 0.064$  Kg/día y  $1.201 \pm 0.135$  Kg/día. Lo que significa un promedio de consumo de 2.18 %, 2.20 % del peso vivo y un  $58.95 \text{ g/W}_{\text{Kg}}^{0.75}$ ,  $59.91 \text{ g/W}_{\text{Kg}}^{0.75}$  respectivamente para los grupos experimentales A y B.

Tabla 17

*Consumo de materia seca para llamas y alpacas de los grupos experimentales A y B alimentadas durante 90 días.*

Variables	Llamas		Alpacas	
	12 mm $\phi$ (n = 5)	24 mm $\phi$ (n = 5)	12 mm $\phi$ (n = 5)	24 mm $\phi$ (n = 5)
Peso corporal promedio, 90 días	108.55	117.63	53.19	54.52
Peso metabólico promedio, $W_{\text{kg}}^{0.75}$	33.59	35.69	19.69	20.05
Ganancia de peso, g/día/animal.	180.00	250.22	80.89	86.22
<b>Partición de EM, kcal</b>				
PC; $EM_m = 86.95 \text{ Kcal/W}_{\text{Kg}}^{0.75} / \text{día}^1$	2,920.65	3,103.25	1,647.86	1,677.98
RE; $EM_g = 10.88 \text{ Kcal/g}^2$	1,958.40	2,722.39	880.08	938.07
<b>Consumo de energía metabolizable (EM<sub>c</sub>)</b>				
EM <sub>c</sub> , kcal/día	4,879.05	5,825.64	2,527.94	2,616.06
EM <sub>c</sub> , kcal/ $W_{\text{kg}}^{0.75}$ /día	145.25	163.23	128.39	130.48
Consumo de MS, promedio Kg/día <sup>3</sup>	2.240	2.675	1.161	1.201
Consumo de materia seca, g/ $W_{\text{kg}}^{0.75}$ /día	66.69	74.94	58.95	59.91
Proporción del peso vivo, %	2.06	2.27	2.18	2.20

Humedad del alimento H°, %	10	8	10	8
Consumo de alimento como tal, MF	2.49	2.907	1.290	1.306
Alimento ofrecido, Kg/día. MS	2.520	2.760	1.260	1.288
Alimento rechazado Kg/día. MS	0.280	0.085	0.099	0.087

EM= Energía metabolizable, PC= Producción de calor, RE= Retención de energía.

<sup>1,2</sup> Estimado con requerimientos energético para llamas (Ramirez, 2017).

<sup>3</sup> Energía metabolizable del alimento: EM = 2178.0 Kcal/Kg MS.

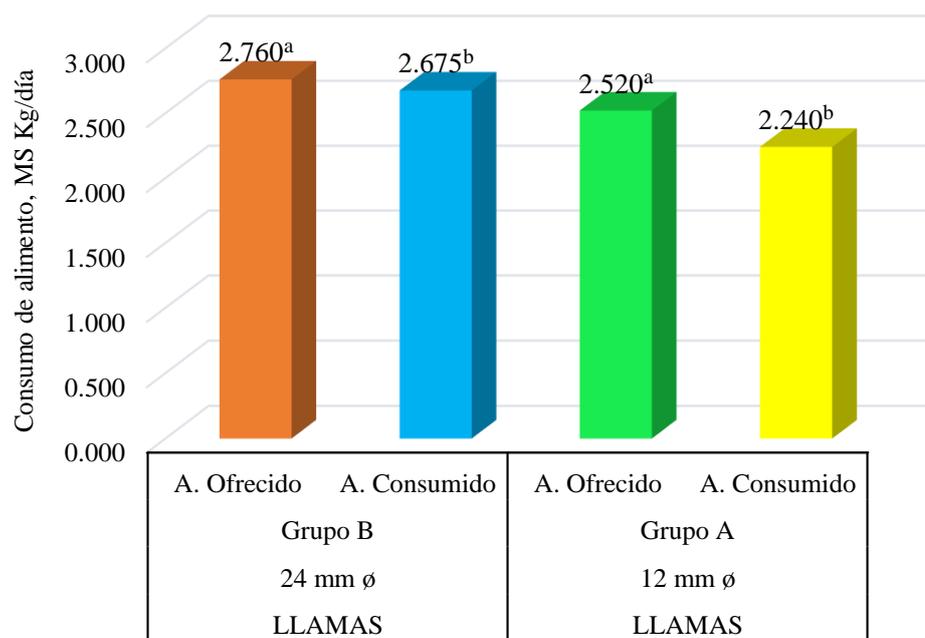


Figura 6. Consumo de alimento en base seca, Kg/día; para llamas con dos dietas experimentales grupo A; 12 mm ø y grupo B; 24 mm ø de tamaño partícula del forraje.

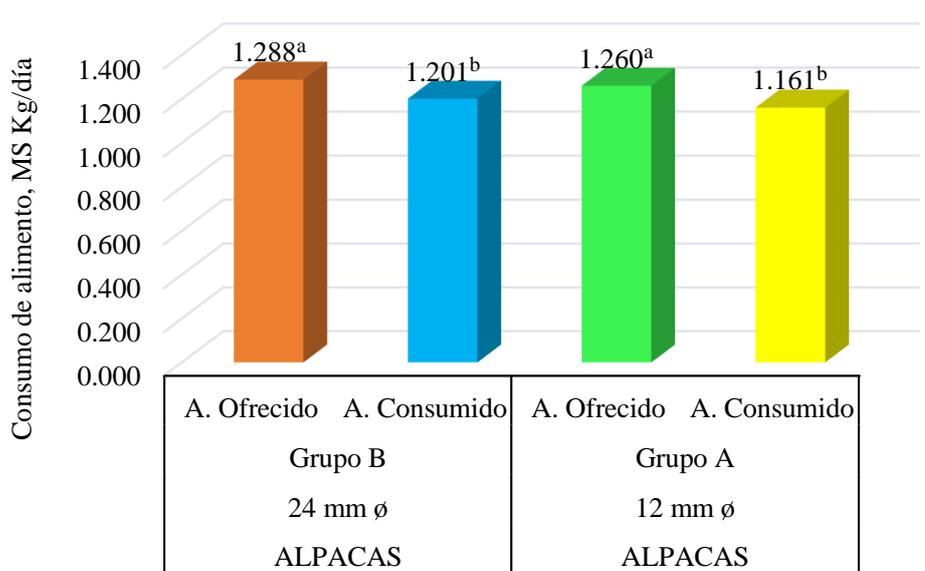


Figura 7. Consumo de alimento en base seca, Kg/día; para llamas con dos dietas experimentales grupo A; 12 mm ø y grupo B; 24 mm ø de tamaño partícula del forraje.

En las figuras 6 y 7; se muestran los promedios para consumo de materia seca Kg/día, en llamas y alpacas, con letras diferentes en las mismas figuras indican que existe diferencia estadística en el consumo de materia seca por efecto tamaño partícula de forraje de las dieta experimental, grupo A (alimento molido a 12 mm  $\varnothing$ ) frente al grupo B (alimento picado a 24 mm  $\varnothing$ ) de tamaño partícula del forraje, estos resultados reflejan que los animales alimentos con la dieta experimental a 24 mm  $\varnothing$  grupo B mostraron mayor consumo de materia seca con relación a la dieta experimental a 12 mm  $\varnothing$  grupo A, este efecto por tipo de dieta experimental se observó tanto en llamas como alpacas respectivamente ( $p < 0.05$ ). Estas diferencias se pueden atribuir a varios factores intrínsecos y extrínsecos que intervienen en el consumo de materia seca, una de ellas es la selectividad que los camélidos desarrollaron por su adaptabilidad de sobrevivir en ambientes áridos esta cualidad de los camélidos es independiente al factor especie, siendo así que las llamas tiene preferencia a por los forrajes fibrosos de mayor tamaño de partícula altos en fibra y bajos en proteína por sus características selectivas se le considera como ramoneadores (Pinares-Patiño *et al.*, 2003). El consumo de materia seca depende de la composición química del alimento, la disponibilidad, y la digestibilidad del forraje (López *et al.*, 1998; Tralbalza *et al.*, 2001); depende también del contenido de proteína (San Martín y Bryant, 1989), y fibra detergente neutro del forraje (López *et al.*, 1998). La fibra dietaria (fibra efectiva, fibra física, fibra funcional o FDN efectiva) es uno de los componentes dietarios que influye en el consumo de materia seca, este factor a su vez está relacionado con la tasa de pasaje ruminal, esto significa que el procesamiento físico de los forrajes influyen en el consumo es decir que a menor tamaño partícula del forraje es menor el consumo de alimento (Angeles, 2014).

El consumo de materia seca en pastoreo, estimado en alpacas equipadas con cánulas esofágicas y sobre *Festuca dolichophylla*/*Muhlenbergia fastigiata*, en La Raya, Perú, a 4200 metros de altitud, fue variable entre estaciones del año. En la estación seca (Octubre), el consumo fue de  $60.5 \text{ g/W}^{0.75}$ , mientras que en la estación húmeda (Febrero) fue de  $53.7 \text{ g/W}^{0.75}$  (Reiner *et al.*, 1987).

Las alpacas en confinamiento consumen variable cantidad de acuerdo a cada tipo de forraje ofrecido; son más eficientes en la ingestión y masticación de forrajes largos que los ovinos (Flores y Gutiérrez, 1995); consumen a voluntad una mayor cantidad de ryegrass y festuca que trébol y paja de trigo, variando de  $39.9$  a  $63.1 \text{ g/W}_{\text{Kg}}^{0.75}$  para la materia seca y  $36.5$  a  $57.1 \text{ g/W}_{\text{Kg}}^{0.75}$  para materia orgánica (López *et al.*, 1998).

En cuatro diferentes tipos de heno, evaluado en ocho alpacas machos, el consumo de materia seca fue  $40.1 \text{ g/W}_{\text{Kg}}^{0.75}$  para trébol,  $63.1 \text{ g/W}_{\text{Kg}}^{0.75}$  para ryegrass,  $39.9 \text{ g/W}_{\text{Kg}}^{0.75}$  para paja de trigo y  $56.9 \text{ g/W}_{\text{Kg}}^{0.75}$  para festuca (López *et al.*, 1998). En alpacas huacaya hembras, lactantes con cría (80.7 Kg) y no lactantes (66.7 Kg), alojadas en grupo y en sistema de libre pastoreo, en un periodo de 55 días de estudio, el consumo de materia seca fue de 1.8% del peso ( $53.9 \text{ g/W}_{\text{Kg}}^{0.75}$ ) para alpacas lactantes con cría, y 1.4% del peso ( $40 \text{ g/W}_{\text{Kg}}^{0.75}$ ) para alpacas no lactante (Folkesson, 2007).

Un ensayo comparativo de consumo en confinamiento y pastoreo entre alpacas y ovinos machos, alimentados en nivel *ad libitum*, encontró que las alpacas seleccionan dieta de menor calidad, y consumen menor cantidad de materia seca que el ovino ( $\text{g/W}_{\text{Kg}}^{0.75}$ ), 38.8 v 74 heno de alfalfa (*Medicago sativa*) en confinamiento; 33.5 v 70 ryegrass/trébol blanco (*Lolium perenne/Trifolium repens*), y 40.3 v. 128.0 para trébol cornudo (*Lotus corniculatus*) en pastoreo, respectivamente (Pinares *et al.*, 2003). El consumo de materia seca varía de 1.08 a 2.40% del peso vivo, con un promedio de 1.83 % del peso corporal, similar al de la llama cuando se ajusta al peso corporal metabólico, y 20 % menor que la capacidad de consumo del ovino (San Martín y Bryant, 1989); en alpacas en mantenimiento el consumo es de 1.25 % del peso corporal, aumenta a 1.5 % en gestación, y 2.0 a 2.75 % en lactación (Van Saun, 2006). En resumen estos valores reportados para consumo de materia seca son próximos a los valores obtenidos en la presente investigación figura 8, en fe a lo menciona se podría plantear la alimentación de los camélidos llamas y alpacas en confinamiento para maximizar su productividad.

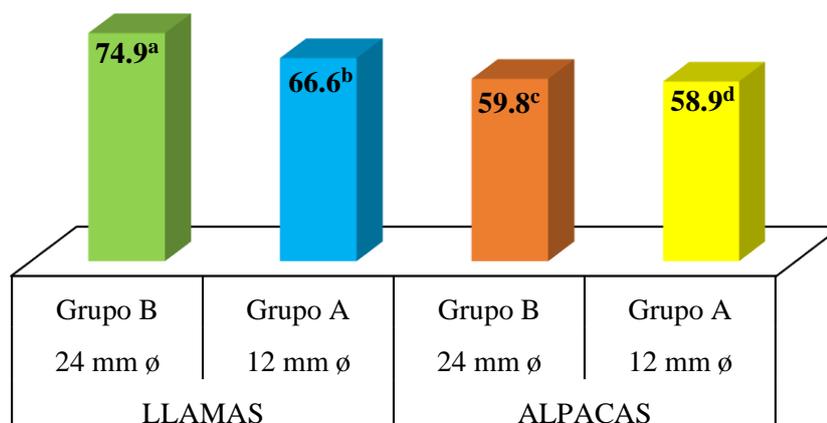


Figura 8. Consumo de alimento en base seca,  $\text{g/W}_{\text{Kg}}^{0.75}$ ; para llamas y alpacas con dos dietas experimentales grupo A; 12 mm ø y grupo B; 24 mm ø de tamaño partícula del forraje ( $p < 0.05$ )

#### 4.2 Ganancia de peso corporal en llamas y alpacas

Las llamas iniciaron el proceso experimental de alimentación con un peso corporal promedio de  $99.84 \pm 12.02$  Kg para el grupo A y  $102.56 \pm 7.20$  Kg para el grupo B, en un periodo de alimentación de 90 días, lograron una ganancia de peso en promedio de  $16.20 \pm 5.73$  Kg para el grupo A, mientras que los animales del grupo B lograron una ganancia de  $22.52 \pm 2.90$  Kg, los mismos que expresan una ganancia diaria de  $0.180 \pm 0.064$  y  $0.250 \pm 0.032$  Kg/día/animal respectivamente, con una diferencia de 0.070 Kg/d entre los grupos experimentales. Al análisis estadístico, mostraron diferencia estadística significativa ( $p < 0.05$ ).

Las alpacas iniciaron el proceso experimental de alimentación con un peso corporal promedio de  $49.08 \pm 1.98$  Kg, para el grupo A y  $49.92 \pm 2.91$  Kg, para el grupo B, lograron una ganancia de peso en promedio de  $7.28 \pm 0.90$  Kg, para el grupo A, mientras que los animales del grupo B lograron una ganancia de  $7.76 \pm 1.90$  Kg, los mismos que expresan una ganancia diaria de  $0.081 \pm 0.010$  y  $0.086 \pm 0.021$  Kg/día/animal respectivamente, con una diferencia de 0.005 Kg/d entre los grupos experimentales. Al análisis estadístico, evidenciaron que existe diferencia estadística significativa para la ganancia de peso por efecto procesamiento físico del tamaño partícula del forraje ( $p < 0.05$ ).

Tabla 18

*Ganancia de peso corporal g/día, para llamas y alpacas de los grupos experimentales A y B alimentadas durante 90 días.*

Variables	Llamas		Alpacas	
	12 mm $\phi$ (n = 5)	24 mm $\phi$ (n = 5)	12 mm $\phi$ (n = 5)	24 mm $\phi$ (n = 5)
Peso inicial, Kg	$99.08 \pm 12.60$	$103.32 \pm 5.55$	$49.08 \pm 1.98$	$49.92 \pm 2.91$
Peso final, Kg	$115.28 \pm 13.88$	$125.84 \pm 7.90$	$56.36 \pm 2.34$	$57.68 \pm 4.09$
Peso metabólico promedio, $W_{kg}^{0.75}$	$33.59 \pm 2.91$	$35.69 \pm 1.44$	$19.69 \pm 0.65$	$20.05 \pm 1.02$
Ganancia de peso, Kg en 90 días	$16.20 \pm 5.73$	$22.52 \pm 2.90$	$7.28 \pm 0.90$	$7.76 \pm 1.90$
Ganancia de peso, Kg/día/animal.	$0.180 \pm 0.064$	$0.250 \pm 0.032$	$0.081 \pm 0.010$	$0.086 \pm 0.021$
Ganancia de peso corporal, $g/W_{kg}^{0.75}/día$	$5.35 \pm 1.90$	$6.99 \pm 0.71$	$4.11 \pm 0.48$	$4.28 \pm 0.95$

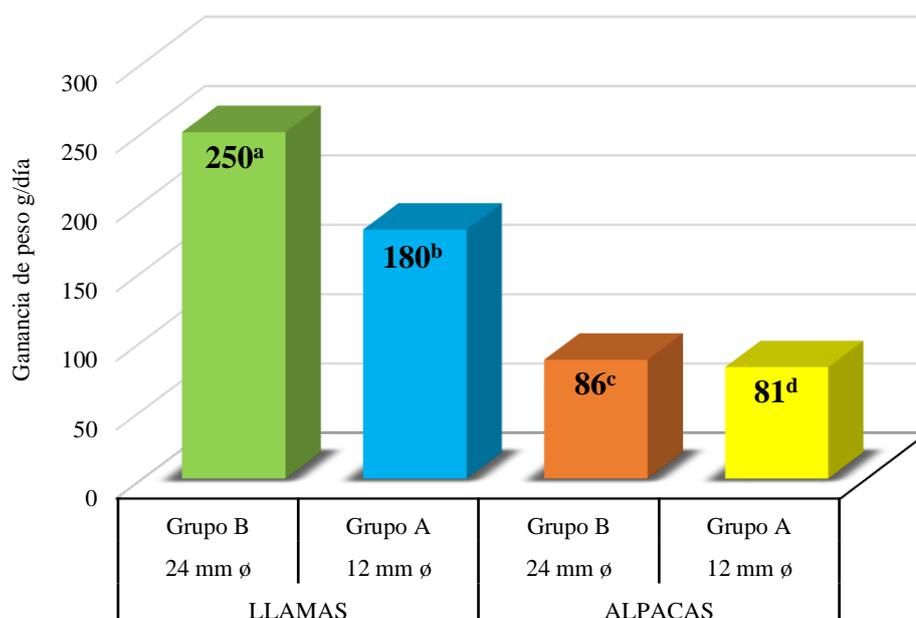


Figura 9. Ganancia de peso g/día; para llamas y alpacas con dos dietas experimentales grupo A; 12 mm  $\phi$  y grupo B; 24 mm  $\phi$  de tamaño partícula del forraje.

En la figura 9 se muestran los promedios para ganancia de peso, g/día para llamas y alpacas alimentadas con concentrado fibroso elaborado con pacas de avena y alfalfa durante un periodo de 90 días bajo estabulación fija con mínima actividad física y en ambiente termo neutral a 4,200 m de altitud, con letras diferentes en la misma figura indican que existe diferencia estadística en ganancia de peso g/día para el factor especie y el factor dieta experimental del grupo A; alimento picado a 12 mm de diámetro frente a la dieta experimental del grupo B; alimento picado a 24 mm de diámetro del tamaño de partícula del forraje, ( $p < 0.05$ ). Donde las llamas y alpacas que consumieron la dieta experimental B; 24 mm  $\phi$  del tamaño partícula mostraron una mayor ganancia de peso en comparación con los animales que fueron alimentados con la dieta experimental A; 12 mm  $\phi$  de tamaño partícula. Estos resultados se deben al contenido de la fibra física dietaria, asociada a la tasa de pasaje de la ingesta siendo de mayor tiempo de fermentación para la dieta experimental B (24 mm  $\phi$  de tamaño partícula del forraje), lo que garantiza una mayor digestión del alimento, el tipo de carbohidrato fibroso procesado mecánicamente tiene una alta relación con la fermentación acetato:propionato además que facilita su digestión evitando el gasto energético para su metabolismo fermentativo (Carmona *et al.*, 2005).

Cabe resaltar que la ganancia de peso está en relación directa con el consumo de materia seca siendo así que el grupo B de llamas y alpacas tuvieron mayor consumo, Por otra parte, la mayoría de los autores coinciden en señalar que conforme se reduce el tamaño de las partículas de alimento se incrementa la superficie de acceso a los microorganismos ruminales y, por consiguiente, se aumenta la velocidad de digestión, incrementando la digestibilidad. Sin embargo, si el tamaño de partícula es muy pequeño, el incremento en la velocidad de paso del alimento a través del tracto digestivo hace que las partículas estén un menor tiempo en el rumen y contrarrestará el aumento en el ritmo de digestión y la digestibilidad puede incluso disminuir. Las partículas más pequeñas permanecen menos tiempo en el rumen, por lo que están menos tiempo disponibles para los microorganismos ruminales y disminuye la digestibilidad, particularmente la de la fibra (Yang y Beauchemin, 2005).

La rumia es otro de los factores que está influenciado por el tamaño partícula, por tanto, la producción de saliva se estimula cuando el animal consume alimentos con alto contenido de fibra (fibra bruta o fibra neutra detergente), como los forrajes. Por el contrario, cuando el animal ingiere alimentos concentrados con elevado contenido en carbohidratos fácilmente fermentables como el almidón, disminuye la rumia, la producción de saliva y se incrementa la producción de ácidos, disminuyendo como consecuencia de todo ello el pH del rumen. Además, si el forraje se pica demasiado, la fibra no es efectiva para estimular la rumia y la producción de saliva, por lo que se incrementan los problemas de acidosis (pH inferiores a 6,2).

Esto sugeriría que en las dietas con forrajes procesados y a 12 mm de tamaño partícula las poblaciones de hongos y protozoarios son menores, además se reduciría la digestibilidad de la materia orgánica resultando en una disminución de la producción de metano. Esta relación debería ser verificada en estudios donde se evalúe la producción de metano y los cambios en las poblaciones microbianas debido a los cambios de la madurez del forraje y las tasas de pasaje (Vargas, 2013).

Los reportes norteamericanos muestran llamas con un peso al nacimiento de 11.60 Kg y un crecimiento curvilíneo que alcanza un peso de 61.05 Kg a las 27 semanas de edad, donde la mayor ganancia de peso se registra a las tres semanas de edad y la menor ganancia (262 g/d) a las 27 semanas de edad (Riek y Gerken, 2007).

Van Saun (2006), muestra una evolución uniforme de los pesos, con ganancias relativamente altas y animales que llegan al peso adulto precozmente a los 36 meses de edad y ganancias de peso de hasta los 400 g/d. Este valor para ganancia es superior a los obtenidos en la investigación esta diferencia se debería a ambiente (ecosistema que se realizó la investigación (alta altitud vs la baja altitud).

A 4200 metros de altitud, donde las condiciones térmicas varían desde  $-5^{\circ}\text{C}$  (junio) hasta  $14^{\circ}\text{C}$  (noviembre) las mayores ganancias se observan en animales de dos años (160g/d) que en los de un año (146g/d), en época lluviosa (171 g/d) que en época seca (136 g/d) y con pastos cultivados (190g/d) que con pastos naturales (78 g/d) (García *et al.*, 2002); y que el peso adulto, alcanzan tardíamente recién a los 60 meses de edad (Wurzinger *et al.*, 2005; Southey *et al.*, 2006). Estos resultados son inferior a los obtenido esta diferencia se puede son atribuidas al efecto tamaño partícula que tiene efecto sobre el consumo, la tasa fermentaba, que facilita la digestión de los forraje logran una mayor ganancia de peso, además de que los animales se encontraban estabulados y con mínima actividad física con mínimo gasto calórico.

Cuno, (2004), en condiciones similares durante 96 días encuentra ganancias de peso de: 5.40 Kg y 56.3 g/día, para el niveles de consumo *ad libitum*, estos son con menor tendencia a los encontrados en el presente trabajo. Esto debido posiblemente a que sus animales empezaron con un peso inicial promedio de 42.28 Kg, y que el alimento utilizado fue heno de alfalfa de media floración con un 17.8 % de proteína. Asimismo Miranda (2000), reporta ganancias de peso de: 106 g/d en el nivel *ad libitum* en alpacas alimentadas con forraje fresco (alfalfa, dactilis y avena).

Ramírez, (2017), en un experimento de alimentación con llamas y alpacas a 4,200 m de altitud, alimentadas con un concentrado fibroso elaborados con henos de avena y alfalfa a dientes naves de consumo durante 55 días, reporta valores para ganancia de peso en g/día para el nivel de consumo *ad libitum* para llamas fue de  $130.000 \pm 43.876$  y para alpacas de  $47.727 \pm 12.454$ , estos valores son inferior a los obtenidos en la presente investigación ya que ambos trabajos se realizaron en las mismas condiciones y con forrajes procesados mecánicamente mediante molienda, así mismo la diferencia probablemente se deba al tipo de alimentación (sistema colectiva) donde se estimuló un mayor consumo de alimento gracias a la competitividad entre animales lo que se expresa en una mejor respuesta al consumo logrando mayor ganancia de peso.

### 4.3 Producción de metano entérico

La producción de metano entérico en llamas del grupo A, con un peso promedio de  $108.55 \pm 12.54$  Kg, fue de  $50.83 \pm 7.79$  ppm/20min,  $24.61 \pm 3.67$  g/d,  $1.53 \pm 0.23$  mol/d, de,  $11.06 \pm 1.19$  g/Kg MSI,  $326.69 \pm 48.68$  Kcal/d que es equivalente a  $59.75 \pm 9.11$  L/d de metano entérico emitido al medio ambiente. Las llamas del grupo B, con un peso promedio de  $117.63 \pm 6.27$  Kg PV, emiten  $55.25 \pm 7.68$  ppm/20min,  $26.67 \pm 3.49$  g/d,  $1.66 \pm 0.22$  mol/d,  $10.01 \pm 1.38$  g/Kg MSI,  $354.04 \pm 46.33$  Kcal/d, equivalente a  $64.95 \pm 9.02$  L/d de metano entérico emitido al medio ambiente.

La producción de metano entérico en alpacas del grupo A, con un peso promedio de  $53.19 \pm 2.33$  Kg, fue de  $23.71 \pm 3.54$  ppm/20min,  $11.53 \pm 1.82$  g/d,  $0.72 \pm 0.11$  mol/d,  $9.97 \pm 1.70$  g/Kg MSI,  $153.13 \pm 24.22$  Kcal/d que es equivalente a  $28.06 \pm 4.19$  L/d de metano entérico emitido al medio ambiente. Las alpacas del grupo B, con un peso promedio de  $54.52 \pm 3.74$  Kg PV, emiten  $28.65 \pm 7.01$  ppm/20min,  $13.87 \pm 3.39$  g/d,  $0.86 \pm 0.21$  mol/d,  $11.53 \pm 2.23$  g/Kg MSI,  $184.16 \pm 44.99$  Kcal/d, equivalente a  $33.89 \pm 8.28$  L/d de metano entérico al medio ambiente (Tabla 19).

Tabla 19

*Producción de metano entérico para llamas y alpacas, con dos grupos experimentales A y B alimentadas con concentrado fibroso (ad libitum).*

Variables	Llamas		Alpacas	
	12 mm $\emptyset$ (n = 5)	24 mm $\emptyset$ (n = 5)	12 mm $\emptyset$ (n = 5)	24 mm $\emptyset$ (n = 5)
<b>PV, Kg</b>	$108.55^a \pm 12.54$	$117.63^a \pm 6.27$	$53.19^b \pm 2.33$	$54.52^b \pm 3.74$
<b>W<sub>Kg</sub><sup>0.75</sup></b>	$33.59^a \pm 2.91$	$35.69^a \pm 1.44$	$19.69^b \pm 0.65$	$20.05^b \pm 1.02$
<b>IMS, Kg/d</b>	$2.240^a \pm 0.368$	$2.675^a \pm 0.211$	$1.161^b \pm 0.064$	$1.201^{ab} \pm 0.135$
<b>CH<sub>4</sub>, ppm/20min</b>	$50.83^a \pm 7.79$	$55.025^a \pm 7.68$	$23.71^b \pm 3.54$	$28.65^b \pm 7.01$
<b>CH<sub>4</sub>, g/d</b>	$24.61^a \pm 3.67$	$26.67^a \pm 3.49$	$11.53^b \pm 1.82$	$13.87^b \pm 3.39$
<b>CH<sub>4</sub>, eq CO<sub>2</sub></b>	$615.14 \pm 91.66$	$666.63 \pm 87.23$	$288.34 \pm 45.61$	$346.77 \pm 84.72$
<b>CH<sub>4</sub>, g/W<sub>Kg</sub><sup>0.75</sup></b>	$0.73 \pm 0.07$	$0.75 \pm 0.10$	$0.59 \pm 0.09$	$0.69 \pm 0.14$
<b>CH<sub>4</sub>, mol/d</b>	$1.53^a \pm 0.23$	$1.66^a \pm 0.22$	$0.72^b \pm 0.11$	$0.86^b \pm 0.21$
<b>CH<sub>4</sub>, g/Kg MSI</b>	$11.06 \pm 1.19$	$10.01 \pm 1.38$	$9.97 \pm 1.70$	$11.53 \pm 2.23$
<b>CH<sub>4</sub>, Kcal/d</b>	$326.69^a \pm 48.68$	$354.04^a \pm 46.33$	$153.13^b \pm 24.22$	$184.16^b \pm 44.99$
<b>CH<sub>4</sub>, L/d</b>	$59.75^a \pm 9.11$	$64.95^a \pm 9.02$	$28.06^b \pm 4.19$	$33.89^b \pm 8.28$
<b>CH<sub>4</sub>, L/Kg MSI</b>	$26.85 \pm 2.87$	$24.37 \pm 3.41$	$24.24 \pm 3.90$	$28.17 \pm 5.67$
<b>CH<sub>4</sub>, L/W<sub>Kg</sub><sup>0.75</sup></b>	$1.77 \pm 0.18$	$1.82 \pm 0.24$	$1.42 \pm 0.20$	$1.68 \pm 0.35$

En la tabla 19 se observan promedios generales para la producción de metano entérico en llamas y alpacas alimentados con dos dietas experimentales grupo A; 12 mm y grupo B; 24 mm de diámetro del forraje procesado mecánicamente, para evaluar el efecto tamaño partícula del forraje sobre la producción de metano, con letras diferentes en la misma fila indican que existe diferencia significativa en la producción de metano para el factor especie ( $p < 0.05$ ), sin embargo no se observó diferencia estadística para el efecto dieta experimental (12 mm  $\phi$  y 24 mm  $\phi$  de tamaño de partícula) para los grupos A y B respectivamente. Estos resultados se deberían al tipo procesamiento físico de los forrajes no habiendo una diferencia amplia entre el rango de molienda que fue de 12 y 24 mm de diámetro del tamaño partícula. Así mismo la manipulación física de los forrajes producen una fermentación propionica (indicado para la reducción de metano) este tipo de fermentación es común en los sistemas de alimentación de rumiantes donde se suministran altas cantidades de concentrados donde participa el tratamiento físico de los forrajes. El picado y peletizado de los forrajes son los factores más preponderantes en el procesamiento de estos que pueden disminuir fuertemente la producción de metano. Este aspecto al parecer se debe a la rápida tasa de pasaje que contribuye a la disminución en la producción de este gas. Pero cuando el consumo no es adecuado este efecto se pierde (Johnson y Johnson, 1995; Roque, 2012; Vargas, 2013; Cerón, 2016).

La producción de metano en llamas y alpacas alimentados con dos dietas experimentales por efecto tamaño partícula fue de  $24.61 \pm 3.67$ ,  $26.67 \pm 3.49$  y  $11.53 \pm 1.82$ ,  $13.87 \pm 3.39$  g/d respectivamente para los grupos A; 12 mm y B; 24 mm de diámetro del tamaño partícula del forraje. Estos resultados son inferiores con los datos obtenidos por (Pari, 2017), quien en un experimento con llamas y alpacas alimentados con concentrado fibroso a base de heno de avena y alfalfa 1:1 con alimento a libre consumo (*ad libitum*) reportó la producción de metano en  $38.9 \pm 4.80$  g/d, y  $23.1 \pm 3.2$  g/d para llamas y alpacas respectivamente, esta diferencia se debería a la metodología que se utilizó para la conversión de la concentración relativa de metano expresada en partes por millón en volumen (ppmv) a las concentraciones absoluta de metano expresada en miligramos por metro cúbico ( $\text{CH}_4$ , mg/m<sup>3</sup>), considerando el valor de la constante universal de los gases (de proporcionalidad o inversa de la constante de la ley universal de los gases = 12.187 (Beychok, 2005) más no la presión atmosférica para ser expresada en miligramos por metro cúbico ( $\text{CH}_4$ , mg/m<sup>3</sup>) ya que se utilizaron las mismas metodologías de medición, nivel de consumo y altitud. Como señala Bunglavan

(2015), es conveniente disponer de métodos, aunque sea aproximado, que permiten tener una idea de las cantidades de metano que aporta el ganado rumiante (Stuart 2018).

La producción de metano en llamas y alpacas alimentados al pastoreo grupo C, (Anexo 6, Tablas 36 y 37). Las llamas con un peso promedio de  $93.65 \pm 6.98$  Kg, emitieron  $10.63 \pm 1.85$  g/d, que equivale a  $25.87 \pm 4.30$  L/d, y las alpacas con un peso promedio de  $47.54 \pm 5.95$  Kg, emitieron  $8.82 \pm 1.26$  g/d, que equivale a  $21.39 \pm 3.01$  L/d de metano entérico al medio ambiente, estos valores son inferiores a lo reportado en el presente trabajo de investigación, alimentados con dos dietas experimentales frente a los animales al pastoreo.

Estas diferencias son atribuidas al estado fenológico de los pastos naturales, puesto que el trabajo de investigación se realizó entre los meses de marzo a junio fecha donde aún se cuenta con una vasta vegetación de pastos tiernos entre gramíneas y leguminosas, ricos en proteína, energía con un contenido alto de carbohidratos no estructurales y bajos en fibra. En consecuencia, el consumo de pasturas con nuevos rebrotes, con baja concentración de carbohidratos estructurales, es favorable, no solo para mejorar la respuesta del animal (aumento de peso o producción de leche entre otros), sino también para el ambiente ya que mejora la eficiencia nutricional de las pasturas y disminuye la producción de metano (Montenegro *et al.*, 2018).

Según Gomide (2004), la calidad de los alimentos está dada por su valor nutritivo, representado por su composición química, digestibilidad de sus nutrientes y consumo de materia seca, así como por el desempeño productivo. Además, la alimentación animal depende de cuatro factores importantes referidos a los sistemas de formulación de dietas: exigencias nutricionales, cantidad de nutrientes ingeridos por el animal, composición química y degradabilidad o digestibilidad de la materia seca y de los nutrientes (Cordero *et al.*, 2018).

Las alpacas alimentados con la dieta A; a  $12\text{mm}\phi$ , produjeron  $23.71 \pm 3.54$  ppm/20min y las alpacas alimentadas con la dieta B; a  $24\text{mm}\phi$  de tamaño de partícula produjeron la cantidad  $28.65 \pm 7.01$  ppm/20min de metano entérico de respectivamente ambos grupos con alimento ofrecido a libre consumo (*ad libitum*), estos resultados son ligeramente inferiores con los datos obtenidos por Machaca *et al.*, (2015), quien reporta 29.09 ppm/20min para alimento fibroso molido y 30.70 ppm/20min para alimento fibroso

entero, esta diferencia se debería al tipo de metodología en el procesamiento de la dieta experimental, ya que se utilizó el mismo metodología de medición y al similar altitud.

Quispe, (2015), reporta la emisión de metano entérico en alpacas a una altitud de 4300msnm de  $31.60 \pm 4.90$  L/d para concentrado fibroso 8mm $\phi$ ,  $32.60 \pm 5.80$  L/d para concentrado fibroso de 12mm $\phi$  y  $44.20 \pm 1.20$  L/d para forraje entero; estos resultados son ligeramente superiores a los resultados encontrados en el presente trabajo de investigación ( $28.06 \pm 4.19$  L/d y  $33.89 \pm 8.28$  L/d para 12mm  $\phi$  y 24mm  $\phi$  de tamaño de partícula respectivamente), esta diferencia se debería al tipo de procesamiento mecánicos del forraje, ya que las mediciones de metano se realizaron con el equipo Gasmeter Dx 4030, y en similares condiciones del ambiente.

En cuanto a las emisiones de metano entérico expresados en g/d en el presente estudio fue de  $11.53 \pm 1.82$ g/d en tamaño de partícula de 12mm $\phi$  y  $13.87 \pm 3.39$ g/d en tamaño de partícula de 24mm $\phi$  y  $8.82 \pm 1.26$ g/d en pastoreo, estos resultados son inferiores a los datos reportados por Pinares-Patiño *et al.*, (2011) quien mediante trazador hexafluoruro de azufre ( $SF_6$ ) determinó la emisión de metano con forrajes en alpacas y ovejas, realizando 3 experimentos: el primero con heno de alfalfa obteniendo 14.9 g/d en alpacas y 18.8g/d en ovejas; en el segundo experimento, en pastizales con trébol blanco obteniendo 22.6g/d en alpacas y 31.1 g/d en ovejas; el tercer experimento al pastoreo en pastos de Lotus obtuvo 19.1 g/d en alpacas y 22.0 g/d en ovejas. La diferencia mínima entre los resultados de ambos trabajos podría atribuirse a la cantidad y calidad de alimento consumido y al método de medición de metano (Boadi *et al.*, 2002), quien describen que la calidad del forraje tiene un impacto directo sobre las emisiones entéricas de metano (Moscoso *et al.*, 2017).

## CONCLUSIONES

- El efecto tamaño de partícula del forraje tiene efecto en el consumo de materia seca donde las llamas y alpacas del grupo B; a 24 mm  $\phi$  mostraron un mayor consumo de materia seca en comparación con las llamas y alpacas de grupo A; a 12 mm  $\phi$  de tamaño de partícula del forraje, reflejando diferencia estadística significativa para el factor efecto tamaño de partícula del forraje ( $p < 0.05$ ).
- La ganancia de peso en llamas y alpacas del grupo B; a 24 mm  $\phi$  tamaño partícula fue mayor en comparación con las llamas y alpacas de grupo A; a 12 mm  $\phi$  de tamaño de partícula del forraje, reflejando diferencia estadística significativa para el factor efecto tamaño de partícula del forraje ( $p < 0.05$ ).
- La producción de metano entérico en llamas y alpacas alimentadas con concentrado fibroso mediante el tratamiento mecánico de los forrajes con dos dietas experimentales. (Grupo A, 12 mm  $\phi$  y grupo B, 24 mm  $\phi$  de tamaño de partícula del forraje) produjeron similares cantidades de metano entérico, no habiendo diferencia estadística para el efecto dieta experimental, sin embargo la producción de metano es diferente por el factor especie ( $p < 0.05$ ).

## RECOMENDACIONES

- Realizar trabajos similares en llamas y alpacas en distintas clases: crías, adultos y en ambos sexos para obtener una información detallada sobre estas especies en cuanto a su alimentación y nutrición.
- Se recomienda realizar el monitoreo de la producción de metano entérico en llamas y alpacas alimentados al pastoreo en otra época del año, época de seca, donde los pastos son bajos en calidad nutricional y escasa disponibilidad alimentaria a fin de obtener información sobre la producción de metano entérico en condiciones de pastoreo.
- Realizar estudios de la bioquímica ruminal de llamas y alpacas para poder evaluar los procesos digestivos que intervienen en la producción del gas metano entérico, en condiciones de altura, como soporte para futuras investigaciones en cuanto al cuidado del ambiente y una ganadería ecoeficiente.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abate A. 1989. Metabolizable energy requirements for maintenance of Kenyan goats. *Small Ruminant Research*. 2: 299-306.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. *Official Methods of Analysis*. 15th edition.
- Aguerre, M. J., M. A. Wattiaux, J. M. Powell, G. A. Broderick, C. Arndt. 2011. 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.*, 94:3081-3093.
- Alvares, N. P. 2010. Destete para el engorde en crías de llamas (*Lama glama*) a los 6 meses de edad bajo dos condiciones de manejo en la hacienda Hualchapi. Virtual. Universidad Técnica de Oruro, Oruro.
- Akin, D. E., and W. S. Borneman. 1990. Role of rumen fungi in fiber degradation. *J. Dairy Sci.*, 73:3023-3032.
- Angeles, S. C. (2014). Fermentación Ruminal , Tamaño De Partícula Y Efecto De La Fibra En. Departamento Nutrición Animal Y Bioquímica Fmvz Unam, (May). Retrieved from. [https://www.researchgate.net/publication/237315199\\_fermentacion\\_ruminal\\_tamaño\\_de\\_particula\\_y\\_efecto\\_de\\_la\\_fibra\\_en\\_la\\_alimentacion\\_de\\_vacas\\_lecheras](https://www.researchgate.net/publication/237315199_fermentacion_ruminal_tamaño_de_particula_y_efecto_de_la_fibra_en_la_alimentacion_de_vacas_lecheras)
- Arias, L. M. (2016). Tabla de composición de materias primas usadas en alimentos para animales fuentes minerales, 36.

- Astete, A. U. 1980. Cultivo de Pastos y Forrajes. Universidad Nacional del Altiplano. Puno – Perú.
- Avilés-Esquivel, Diana & Barros-Rodríguez, Marcos & Montero-Recalde, Mayra. (2018). Los camélidos sudamericanos: productos y subproductos usados en la región andina south american camelids: products and sub-products used in the andean region. 11. 30-38.
- Bai, M., D. W. T. Griffith, F. A. Phillips, T. Naylor, S. K. Muir, S. M. McGinn, D. Chen, and others. 2016. Correlations of methane and carbon dioxide concentration from feedlot cattle as a predictor of methane emissions. *Anim. Prod. Sci.*, 56:108-115.
- Bautista, J., 2002. Composición botánica de la dieta seleccionada por la Llama (lama glama) al pastoreo en época seca y lluviosa de puna húmeda. *Allpaka, Revista de Investigación sobre Camélidos Sudamericanos*, Vol 5
- Bäckman K., 2012, The effect of additional nitrate and sulfur in the diet the methane production in cattle, Swedish University of agricultural Sciences Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science Department of Animal Nutrition and Management, pag.6.
- Beychok, M. 2005. Fundamentals of spack gas dispersión. 4th ed. Milton R. Beychok, California, UEA.
- Boadi DA, and Wittenberg KM. 2002, Methane production from dairy cattle and beef heifers feed forages differing in nutrient density using the sulphur hexafluoride (SF6) technique. *Can J Anim Sci*; 82:201-206
- Bowen, R., 2003. Digestive Anatomy in Ruminants. Colorado State University.
- Boogert, N. J., S. M. Reader, and K. N. Laland. 2006. The relation between social rank, neophobia and individual learning in starlings. *Anim. Behav.*, 72:1229-1239.
- Bunglavan, S.J.2014. Methanogenesis and recent techniques for mitigation of methanogenesis in ruminants. *J. Livestock Sci.* 5:35.

- Brenes E.R., Madrigal K., Pérez F. y Valladares K. 2001. El Cluster de los Camélidos en Perú: Diagnóstico Competitivo y Recomendaciones Estratégicas. Instituto Centroamericano de Administración de Empresas
- Bryant, F.C., and R.D. Farfan. 1984. Dry season forage selection by alpaca (*Lama pacos* L.) in Southern Peru. *J. Range Manage.* 37:330:333.
- Broucek, J. 2014. Methods of methane measuring in ruminants. *Slovak J. Anim. Sci.*, 47:81-90.
- Bhatta, R., O. Enishi, and M. Kurihara. 2007. Measurement of methane production from ruminants. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 20:1305-1318.
- Carmean, B.R., Johnson, K.A., Johnson, D.E., and Johnson, L.W., 1992. Maintenance energy requirement of llamas. *Am. J. Vet. Rs.* 53(9):1696-1698. PMID: 1329588 [PubMed - indexed for MEDLINE]
- Carmona, Juan C, Zoot Esp, Diana M Bolívar, and Luis A Giraldo. 2005. “El Gas Metano En La Producción Ganadera y Alternativas Para Medir Sus Emisiones y Aminorar Su Impacto a Nivel Ambiental y Productivo.” 18: 49–63.
- Cañas, R. 1995. Alimentación y Nutrición Animal. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía. Colección en Agricultura. Ed. Alfabetá Impresores. Santiago, Chile. 576 p.
- Cerón Cucchi M.E, Trangoni M, Gioffré A, Marcoppido G, Talia P y Cravero, SL. “A molecular diversity study of the forestomach bacteria community in the llama (*Lama glama*) from different altitude regions in Argentina” Rowett Institute of Nutrition and Health and l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA). University of Aberdeen UK. 16-19 june 2014b.
- Cerón Cucchi, M.E, 2016. “CONFERENCE TITLE Diversidad Microbiana Del Estómago de Los Camélidos Sudamericanos.” (Octubre 2015).
- Cordero, F. Alfonso, Contreras, P. José, Curasma, C. James, Tunque, Q. Miguel, Enríquez, Q. Daniel, 2018. “Degradabilidad y estimación del consumo de Forrajes y concentrados en Alpacas (*Vicugna Pacos* ).” 29(2): 429–37.

- Cowie, M., and H. Watt. 1971. Diffusion of methane and chloromethanes in air. *Canad. J. Chem.*, 49:74-77. 641
- Cuno, F., 2004. Determinación de la producción de calor y balance energético en alpacas huacaya. Tesis. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.
- Chang, R., R, Álvarez, S. Ponce y R. Zugazagoitia. 2012. Química. 7ma edición. McGraw-Hill interamericana editores, S.A. de C.V. México.
- Choque, J. M. 2005. Producción y Manejo de Especies Forrajeras. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Altiplano. Puno – Perú.
- Choquemamani, M. 2017. Emisión de metano entérico en llamas al pastoreo en praderas andinas. Tesis Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia Universidad Nacional del altiplano Puno- Perú.
- Del Valle, I, De La Fuente, G. y M. Fondevila. 2008. Ciliate protozoa of the forestomach of llamas (*Lama glama*) and alpacas (*Vicugna pacos*) from the Bolivian Altiplano. *Zootaxa* 1703: 62–68.
- Davies, H.L., Robinson, T. F., Roeder, B. L., Sharp, M. E., Johnston, N.P., Christensen, A. C., and Schaalje, G. B., 2007. Digestibility, nitrogen balance, and blood metabolites in llama (*Lama glama*) and alpaca (*lama pacos*) fed barley or barley alfalfa diets. *Small Rumin. Res.* 73: 1-7.
- Deighton, M. H., S. R. O. Williams, M. C. Hannah, R. J. Eckard, T. M. Boland, W. J. Wales, and P. J. Moate. 2014. A modified sulphur hexafluoride tracer technique enables accurate determination of enteric methane emissions from ruminants. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 197:47-63.
- Dehority BA (2003). *Rumen microbiology*. (Nottingham University Press ed.). Nottingham UK. 372 pp.
- Dilon, P; Crosse, S; and B. O'Brien. 1997. Effect of concentrate supplementation of grazing dairy cows in early lactation on milk production and milk processing quality. *Irish J. Agric. Food Res.* 36.

- Dittmann, M. T., U. Runge, R. A. Lang, D. Moser, C. Galeffi, M. Kreuzer, and M. Clauss. 2014. Methane Emission by Camelids. PLoS ONE 9(4): e94363.
- Doreau, M., H. M. G. van der Werf, D. Micol, H. Dubroeuq, J. Agabriel, Y. Rochette, and C. Martin. 2011. Enteric methane production and greenhouse gases balance of diets differing in concentrate in the fattening phase of a beef production system. J. Anim. Sci., 89:2518-2528.
- Dulphy, J. P., J. P. Jouany, W. Martin-Rosset, and M. Thériez. 1994. A comparative study of intake and digestibility of forages in herbivores: a review. Ann. Zootech., 43 (1): 11-32.
- Dlamini, A. M., and M. A. Dube. 2014. Contribution of animal agriculture to greenhouse gases production in Swaziland. American J. Clim. Chang., 3:253-260.
- EPA. 2015. Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2013. 430-R-15-004. April 15, 2015 U.S. Environmental Protection Agency 1200 Pennsylvania Ave., N.W. Washington, DC 20460 U.S.A.
- Engelhardt, W., and W. Schneider, 1977. Energy and nitrogen metabolism in the llama. Anim. Res. and Develop. 5:68-72.
- Engelhardt, W., Lechner-Doll, M., Heller, R., Schwartz, H.J., Ruagwenda, T., and W., Schuktka, 1986a. Physiology of fore stomach of camelids with particular reference to adaptation to extreme dietary contions. Zoolo-gische Beitrage N. F. 30: 1-15
- Engelhardt, W., Weyreter, H. Heller, R., Lechener-Doll, M., Schwartz, H.J., Rutagwenda, R., and W., Schultka, 1986b. Adapation of indigenous sheep, goats and camenls in harsh grazing conditions. International Atomic Energy Agency: Vienna. Pp. 105-113
- Engelhardt W, Dycker C, Lechner-Doll M (2007). Absorption of short-chain fatty acids, sodium and water from the forestomach of camels. Journal of Comparative Physiology B. 177, 631-640.

- FAO. 2005. Situación Actual de los Camélidos Sudamericanos en el Perú. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Proyecto de Cooperación Técnica en apoyo a la crianza y aprovechamiento de los Camélidos Sudamericanos en la Región Andina TCP/RLA/2914.
- FAO. 2006. World Agriculture towards 2030/2050. Interim report. Global Perspective Studies Unit. FAO, Rome.
- FAO. 2009. Howtofeedtheworld in 2050. 2009. towards 2030/2050. High-Level Expert Forum. Rome 12-13 October 2009. FAO, Rome.
- Farmer, C. G., R.C. Cochran, D.D. Simms, J.S. Heldt, and C.P. Mathis. 2001. Impact of different wheat milling by-products in supplement on the forage use and performance of beef cattle consuming low-quality, tall grass-prairie forage. *J. Anim. Sci.* 79: 2472-2480.
- Ferris, C. P., F.J. Gordon, D.C. Patterson, M.G. Porter, and T. Yan. 1999. The effect of genetic merit and concentrate proportion in the diet on nutrient utilization by lactating dairy cows. *J. Agric. Sci. (Camb)*.
- Fiore, A. M. 2014. Sources and sinks of hydroxyl (OH) radicals. *Nature*, 513:176-178.
- Folkesson, P., 2007. Alpacka-en utfodringsstudie i fält. A field study on feeding of Alpacas in Sweden. Swedish University of Agricultural Sciences Uppsala.
- Forster, P., *et al.* 2007. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Florez, J.A., 1973. Velocidad de pasaje de la ingesta y digestibilidad en alpacas y ovinos. Tesis. Acad. Prog. Med. Vet., Univ. Nac. Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Flores, E. and Guevara, V., 1994. Estimation of Metabolizable Energy Requirements for Maintenance and Gain in Growing Alpacas (*Lama pacos*). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Flores, E. and Gutierrez, G.A., 1995. Ingestive Mastication and forage fragmentation in sheep, alpacas and llamas. Fifth International Rangeland Congress. Salt Lake City, Utah. Pp 151-152.

- Gao, Z., H. Yuan, W. Ma, J. Li, X. Liu, and R. L. Desjardins. 2011. Diurnal and seasonal patterns of methane emissions from a dairy operation in North China Plain. *Advances in Meteorology*. Volume 2011, Article ID 190234, 7 pages.
- García, W., F. San Martín, C. Novoa y E. Franco. 2002. Engorde de llamas bajo diferentes regímenes alimenticios. *Rev. Inv. Vet.*, 13:1-9.
- Gasmet<sup>MR</sup>, 2012, Gasmet DX-4030 user manual for Gas Analyser On-site Series Instruction and Operating Manual Version E1.18 (5.12.2012)
- Genin, D., Z. Villca, and P. Abasto. 1994. Diet selection and utilization by llama and sheep in a high altitude-arid rangeland of Bolivia. *J. Range Manag.* 47:245-248.
- Genin, D., P. Abasto, S. Choque, and J. Magne. 2002. Dung ash treatment of a native forage to improve livestock feeding in low-input Andean pastoral systems. *Livestock Research for Rural Development*. 14: 1-7.
- Gerken M. 2009. Relationships between integumental characteristics and thermoregulation in South American camelids. *Animal* 1-9.
- Gihad, E.A., T.T. El-Gallad, A.E. Sooud, M.F.A. Farid, and H.M. Abou El-Nasr, 1989. Feed and water intake, digestibility and nitrogen utilization by camels compared to sheep and goats fed low protein desert by-products. *Options Méditerranéennes—Série Séminaires*. 2:75-81.
- Goopy JP, Chang C., Tomkins N. (2016) Una comparación de metodologías para medir las emisiones de metano de rumiantes. En: Rosenstock T., Rufino M., Butterbach-Bahl K., Wollenberg L., Richards M. (eds) *Métodos para medir los saldos de gases de efecto invernadero y evaluar las opciones de mitigación en la agricultura de pequeños agricultores*. Springer, Cham.
- Gomide JA. 2004. Os volumosos na alimentação de vacas leiteiras. En: *Nutrição de bovinos. Conceitos básicos e aplicados*. 5th ed. Piracicaba: FEALQ. 563 p.
- Grainger, C., T. Clarke, S. M. McGinn, M. J. Auldist, K. A. Beauchemin, M. C. Hannah, G. C. Waghorn, H. Clark, and R. J. Eckard. 2007. Methane emissions from dairy cows measured using the sulfur hexafluoride (SF<sub>6</sub>) tracer and chamber techniques. *J. Dairy Sci.*, 90:2755-2766.

- Ghosh, A., P. K. Patra, K. Ishijima, T. Umezawa, A. Ito, D. M. Etheridge, S. Sugawara, K. Kawamura, J. B. Miller, E. J. Dlugokencky, P. B. Krummel, P. J. Fraser, L. P. Steele, R. L. Langenfelds, C. M. Trudinger, J. W. C. White, B. Vaughn, T. Saeki, S. Aoki, and T. Nakazawa. 2015. Variations in global methane sources and sinks during 1910-2010. *Atmos. Chem. Phys.*, 15:2595-2612.
- Haque, M. N., C. Cornou, and J. Madsen. 2015. Individual variation and repeatability of methane production from dairy cows estimated by the CO<sub>2</sub> method in automatic milking system. *Animal*, 9:1567-1576.
- Harper, L. A., O. T. Denmead, J. R. Freney, and F. M. Byers. 1999. Direct measurements of methane emissions from grazing and feedlot cattle. *J. Anim. Sci.*, 77:1392-1401.
- Heinrichs, A. J., B. P. Lammers, and D. R. Buckmaster. 1999. Processing, mixing, and particle size reduction of forages for dairy cattle. *J. Anim. Sci.* 77: 180-186.
- Hegarty RS (2013) Applicability of short-term emission measurements for on-farm quantification of enteric methane. *Animal* 7:401–408
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C. y Baptista-Lucio, P. (2014). Selección de la muestra. En *Metodología de la Investigación* (6ª ed., pp. 170-191). México: McGraw-Hill. (2014).
- Hintz, H.F., H.F. Schryver, and M. Halbert, 1973. A note on the comparison of digestion by new world camels, sheep and ponies. *Anim. Prod.* 16(3):303-305.
- Hintz, H.F., Sedgenrick, C.J., and Schryver, H.F., 1976. Some observations of a pelleted diet by ruminant and non-ruminants. *Int. Zoo. Yearbook.* 16: 54–57.
- Holgado, D., Farfán, R.D., y Tapia, M.E., 1979. Evaluación Agrostológica de los Pastizales de la Raya, Puno, Perú. *Rev. Inv. Pec. (IVITA).* 4:32-37.
- Hook, S. E., A. D. G. Wright, and B. W. McBride. 2010. Methanogens: Methane producers of the rumen and mitigation strategies. *Archaea.* 2010:1-11.
- Holter, J. B; and A. J. Young. 1992. Methane Prediction in Dry and Lactating Holstein Cows. *J. Dairy Sci.* 75: 2165-2175.

- Huwasquiche, A. 1974. Balance del nitrógeno y digestibilidad en alpacas y ovinos. Tesis. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.
- IICAT, Instituto de Investigación en Ciencia Animal y Tecnología. 2016. “Composición de La Ingesta Seleccionada Por Llamas ( Lama Glama , Linnaeus 1758 ) de La Provincia José Manuel Pando , Municipio Santiago De Machaca Composition Selected by Llamas Intake ( Lama Glama , Linnaeus 1758 ) of José Manuel Pando Province , Municip.” 2(1).
- INEI. 2012. Instituto Nacional de Estadística e Informática. IV Censo Nacional Agropecuario.
- INEI Instituto Nacional de Estadística e Informática. 2013. Resultados definitivos. IV Censo Nacional Agropecuario 2012. Documentos públicos/ resultados finales IVCENAGRO.pdf Disponible en: <http://proyectos.inei.gob.pe/web/>
- Iñiguez, L, Alem R, Wauer A, Mueller J. 1998. Fleece types, fiber characteristics and production system of an outstanding llama population from Southern Bolivia. *Small Ruminant Res* 30: 57-65.
- IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. Climate change, the physical science basis. Camb. Univ. Press, Cambridge, U.K.
- Irlbeck, N., 2002. Basics of Alpaca Nutrition, Part 1. *Alpacas Magazine*.
- Ishler, V; J. Heinrichs, and G. Varga. 1994. from Feed to Milk: Understanding rumen function; Extension circular No. 422, Pennsylvania State University, College Of Agricultural Sciences: Pages 5. Disponible En: <Http://pubs.cas.psu.edu/freepubs/pdfs/ec422.pdf>.
- Janssen, P.H., and M. Kirs, 2008. Structure of the archaeal community of the rumen. *Applied and environmental microbiology*. 74:3619-3625.
- Jaynes, D. B., and A. S. Rogowski. 1983. Applicability of Ficks Law to gas-diffusion. *Soil Science Society of America Journal*. 47:425-430.
- Joblin, K.N., H. Matsui, G.E. Naylor, and K. Ushida, 2002. Degradation of fresh ryegrass by methanogenic co-cultures of ruminal fungi grown in the presence or absence of fibrobacter succinogenes. *Current Microbiology*. 45: 46–53.

- Johnson, K., Huyler, M., Westberg, H., Lamb, B. and Zimmerman, P. 1994. Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a SF<sub>6</sub> tracer technique. *Environmental Science and Technology* 28, 359-362.
- Johnson, K.A., and D.E. Johnson, 1995. Methane Emissions. *J. Anim. Sci.* 73: 2483-2492.
- Johnson, L., J. H. Harrison, C. Hunt, K. Shinnars, C. G. Doggett, and D. Sapienza. 1999. Nutritive value of corn silage as affected by maturity and mechanical processing: A Contemporary Review. *J. Dairy Sci.*, 82:2813-2825.
- Johnson, K. A., H. H. Westberg, B. K. Lamb and R. L. Kincaid. 2002. The use of sulphur hexafluoride for measuring methane emissions from farm animals. In *Proc. 1st international conference on greenhouse gases and animal agriculture*, Obihiro, Hokkaido, Japan, pp. 72-81.
- Johnson, K. A., H. H. Westbeg, J. J. Michal, and M. W. Cossalman. 2007. "Measuring methane emission of ruminants by in vitro and in vivo techniques." Pp. 33-67 in *measuring methane production from ruminants*, edited by Harinder P.S.; Vercoe Makkar, Philip E. (Eds.). Vienna, Austria: Springer.
- Kaldwell, M., Fernandez, M., Stanley, H.F., Baldi, R., Wheeler, J.C., Rosadio, R. and Bruford, M., 2001. Genetic analysis reveals the wild ancestors of the llama and the alpaca. *Proc. R. Soc. Lond. B* 268:2575-2584.
- Kebreab, E., K. Clark, W. Riddle & J. France, 2006. Methane and nitrous oxide emissions from Canadian agriculture. A review. *Can. J. Anim. Sci.*, 86, 135-158.
- Kennedy, J., P. Dillon, K O'Sullivan, F. Buckley, and M. Rath. 2003. The effect of genetic merit for milk production and concentrate feeding level on the reproductive performance of Holstein- Friesian cows in a grass – based system. *Anim. Sci.* 76: 297 – 308.
- Knapp, J. R., G. L. Laur, P. A. Vadas, W. P. Weiss, J. M. Tricarico. 2014. Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: Quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *J. Dairy Sci.*, 97:3231-3261.

- Kim, M., M. Morrison, and Z. Yu. 2011. Status of the phylogenetic diversity census of ruminal microbiomes. *Fems microbiology ecology*. 76:49-63.
- Kirschke, S., P. Bousquet, P. Ciais, M. Saunois, J. G. Canadell, E. J. Dlugokencky, P. Bergamaschi, D. Bergmann, D. R. Blake, L. Bruhwiler, P. Cameron-Smith, S. Castaldi, F. Chevallier, L. Feng, A. Fraser, M. Heimann, E. L. Hodson, S. Houweling, B. Josse, P. J. Fraser, P. B. Krummel, J. F. Lamarque, R. L. Langenfelds, C. Le Quéré, V. Naik, S. O'Doherty, P. I. Palmer, I. Pison, D. Plummer, B. Poulter, R. G. Prinn, M. Rigby, B. Ringeval, M. Santini, M. Schmidt, D. T. Shindell, I. J. Simpson, R. Spahni, L. P. Steele, S. A. Strode, K. Sudo, S. Szopa, G. R. van der Werf, A. Voulgarakis, M. van Weele, R. F. Weiss, J. E. Williams, and G. Zeng. 2013. Three decades of global methane sources and sinks. *Nat. Geosci.*, 6:813-823.
- Kuehl, R. 2001. *Diseño de Experimentos. Principios Estadísticos para el Diseño y Análisis de Investigaciones. Versión Española de la 2da Edición.* Thomson-Learning. TheUniversity of Arizona.
- Kristjanson P., A. Krishna, M. Radeny, J. Kuan, G. Quilca, A. Sanchez-Urrelo, and C. Leon-Velarde. 2007. Poverty dynamics and the role of livestock in the Peruvian Andes. *Agricultural Systems*, 94:294-308.
- Lassen, J., P. Løvendahl, and J. Madsen. 2012. Accuracy of noninvasive breath methane measurements using Fourier transform infrared methods on individual cows. *J. Dairy Sci.*, 95:890-898.
- Lassey, K. R., M. J. Ulyatt, R. J. Martin, C. F. Walker, and I. D. Shelton. 1997. Methane emissions measured directly from grazing livestock in New Zealand. *Atmospheric Environment* 31(18):2905-2914.
- Lawrie, J. 2004. Nutrient requirements of alpacas. *Pastures for alpacas in Southern Australia.* Bonnie Vale Alpacas.
- Lechner-Doll, M., W. Von Engelhardt, H.M. Abbas, L. Mousa, L. Luciano, and E. Reale, 1995. Particularities in forestomach anatomy, physiology and biochemistry of camelids compared to ruminants. In: Tisserand JL (ed) *Elevage et alimentation*

- du dromadaire-camel production and nutrition. Options méditerranéennes, Serie B: Etudes et Recherches Nr 13, CIHEAM, Paris, pp 19-32.
- Li, L., Y. Zhu, X. Wang, Y. He, and B. Cao. 2014. Effects of different dietary energy and protein levels and sex on growth performance, carcass characteristics and meat quality of F1 Angus × Chinese Xiangxi yellow cattle. *J Anim. Sci. Biotech.*, 5:1-12.
- López, A., J. Maiztegui, and R. Cabrera, 1998. Voluntary intake and digestibility of forages with different nutritional quality in alpacas (*Lama pacos*). *Small Rum. Res.* 29:295-301.
- López, S., M.D. Carro, J.S. Gonzales, and F.J. Ovejero. 1998. "Comparison of different in vitro and in situ methods to estimate the extent and rate of degradation of hays in the rumen." *Animal Feed Science and Technology* 73:99-113.
- Lund, K. E., S. K. Maloney, J. T. B. Milton, and D. Blache. 2012. Gradual training of alpacas to the confinement of metabolism pens reduces stress when normal excretion behavior is accommodated. *ILAR Journal.* 53:E22-E30.
- Luo, J., A. L. Goetsch, I. V. Nsahlai, T. Sahlu, C. L. Ferrel, F. N. Owens, M. L. Galyean, J. E. Moore, and Z. B. Johnson. 2004. Prediction of metabolizable energy and protein requirements for maintenance, gain and fiber growth of Angora goats. *Small Ruminant Research.* 53: 339–356.
- Machaca, M. C. Quispe, A. Castro, G. Arroyo, T. Huanca, B. Roque, W. Huanca. 2015. Efecto de Dos Dietas Fibrosas en la Producción de Metano en Alpacas. Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima – Perú.
- Madsen, J., B. S. Bjerg, T. Hvelplund, M. R. Weisbjerg, and P. Lund. 2010. Methane and carbon dioxide ratio in excreted air for quantification of methane production in ruminants. *Livest. Sci.*, 129:223-227.
- Madsen, J., and M. F. Bertelsen. 2012. Methane production by red-necked wallabies (*Macropus rufogriseus*). *J. Anim. Sci.*, 90:1364-1370.

- Manrique, Augusto & Riveros, Aida & Fiorella, Alfonso & Sigvas, Omar & Contreras Paco, Jose. (2018). Composición botánica de la dieta seleccionada por vicuñas (*Vicugna vicugna*) y especies domesticas (*Vicugna pacos*, *Lama glama* y *Ovis aries*) en simpatía.
- Martin, C., D.P Morgavi, and M. Doreau. 2010. Methane mitigation in ruminants: from microbe to the farm scale. *Animal*, 4: 351-365.
- Mahecha, L. Liliana, A. Joaquín Angulo, Hernández Barragán, and Wilson Andrés. 2017. “Calidad Nutricional, Dinámica Fermentativa y Producción de Metano de Arreglos Silvopastoriles.” *Agronomía Mesoamericana* 28(2):371.
- Mayta, M. J. C. 2005, Selectividad, consumo y composición química de dieta de alpacas pastoreadas en bofedales de las comunidades de Nuñoa. Tesis, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad nacional del altiplano. Puno-Perú.
- Miranda, E., 2000. Determinación de los requerimientos energéticos de mantenimiento y ganancia en alpacas huacaya en altura (Avance preliminar). Tesis. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.
- Mc Allister, T. A., and C. J. Newbold. 2008: Redirecting rumen fermentation to reduce methanogenesis. *Aust. J. Exp. Agr.*, 48: 7-13.
- McGinn SM, Chen D, Loh Z, Hill J, Beauchemin KA, Denmead OT (2008) Methane emissions from feedlot cattle in Australia and Canada. *Aust J Exp Agric* 48:183–185.
- Moe, P. W., and H. F. Tyrell. 1979. Methane production in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 62: 1583-1586.
- Montzka, S. A., E. J. Dlugokencky, and J. H. Butler. 2011. Non-CO<sub>2</sub> greenhouse gases and climate change. *Nature*, 476:43-50.
- Montenegro, Johnny, Eduardo Barrantes, and Nicolás DiLorenzo. 2018. “Determinación de La Emisión de Metano Entérico de Novillos Brahman En Pastoreo En El Ecosistema de Bosque Tropical Seco de Costa Rica Determination of Enteric Methane Emission from Grazing Brahman Steers in the Director y Editor : Determinación de La Emis.” 52(2): 158–70.

- Moré G., C. Regensburger, M. L. Gos, L. Pardini, S. K. Verma, J. Ctibor, M. E. Serrano-Martínez, J. P. Dubey, and M. C. Venturini. 2016. *Sarcocystis masoni*, n. sp. (Apicomplexa: Sarcocystidae), and redescription of *Sarcocystis aucheniae* from llama (*Lama glama*), guanaco (*Lama guanicoe*) and alpaca (*Vicugna pacos*). *Parasitology*, 143(5):617-626.
- Morgavi, D. P., E. Forano, C. Martin, and C. J. Newbold. 2010. Microbial ecosystem and methanogenesis in ruminants. *Animal*, 4:1024-1036.
- Morrison, F. 1994. *Compendio de alimentación del ganado*. Segunda edición, Editorial UTHEA-México.
- Moss, A. R., J. Jouany, and J. Newbold. 2000. "Methane production by ruminants: its contribution to global warming." *Ann. Zootech.* 49(3):231-53.
- Moscoso M., J. E., Franco F., F., San Martín H., F., Olazábal L., J., Chino V., L. B., & Pinares-Patiño, C. S. (2017). Producción de Metano en Vacunos al Pastoreo Suplementados con Ensilado, Concentrado y Taninos en el Altiplano Peruano en Época Seca. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 28(4), 822.  
<https://doi.org/10.15381/rivep.v28i4.13887>
- Murray, R. M., A. M. Bryant, and R. A. Leng. 1976. Rate of production of methane in the rumen and the large intestine of sheep. *Brit. J. Nut.*, 36:1-14.
- Muñoz, C., T. Yan, D. A. Wills, S. Murray, and A. W. Gordon. 2012. 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.*, 95:3139-3148.
- National Research Council (NRC), 1981b. *Nutritional Energetics of Domestic Animals & Glossary of Energy Terms*. National Academy Press. Washington, D.C.
- National Research Council (NRC), 2001. *Nutrient requirements of dairy cattle*. National academy press. Washington, Dc.
- NOAA. 2013. The methane bomb, clathrates, and arctic tundra. *Life in a world at 1830 parts per billion and rising*.

- Ominski, K.H., And K.M. Wittenberg. 2004. "Strategies For Reducing Enteric Methane Emissions In Forage-Based Beef Production Systems." Presented At "The Science Of Changing Climates- Impact On Agriculture, Forestry And Wetlands" July 20-23 2004 University Of Alberta, Edmonton, Alberta Canadian Society Of Agronomy, Animal Science, And Soil Science.
- Pari, J. 2017. Efecto del nivel de consumo de concentrado fibroso en las emisiones de metano entérico en alpacas y llamas. Tesis de Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia Universidad Nacional del Altiplano Puno- Perú.
- Paputungan, U., L. Hakim, G. Ciptadi, and H. F. N. Lapián. 2015. Application of body volumen formula for predicting live weight in Ongole crossbred cows. *Internat. J. Livest. Prod.*, 6:35-40.
- Patra A. K. 2016. Recent advances in measurement and dietary mitigation of enteric methane emissions in ruminants. *Front. Vet. Sci.*, 3:39.
- Pedreira, M. S., S. G. de Oliveira, O. Primavesi, M. A. de Lima, R. T. S. Frighetto, and T. T. Berchielli. 2013. Methane emissions and estimates of ruminal fermentation parameters in beef cattle fed different dietary concentrate levels. *R. Bras. Zootec.*, 42:592-598.
- Pedreira, Márcio Dos Santos, Odo Primavesi, Magda Aparecida Lima, Rosa Frighetto, Simone Gisele de Oliveira, and Telma Teresinha Berchielli. 2009 "ruminal methane emission by dairy cattle in southeast Brazil." *Scientia Agricola* 66:742-50.
- Pinares-Patiño, C. S., M. J. Ulyatt, G. C. Waghorn, K. R. Lassey, T. N. Barry, *et al.* (2003). Methane emission by alpaca and sheep fed on lucerne hay or grazed on pastures of perennial ryegrass/white clover or birdsfoot trefoil. *J. Agric. Sci.*, 140:215-226.
- Pinares-Patiño CS, Lassey KR, Martin RJ, Molano G, Fernandez M, MacLean S, Sandoval E, Luo D and Clark H 2011b. Assessment of the sulphur hexafluoride (SF<sub>6</sub>) tracer technique using respiration chambers for estimation of methane emissions from sheep. *Animal Feed Science and Technology* 166, 201–209.
- Pinares-Patiño, C. 2014. Mitigación de las emisiones de metano entérico de sistemas ganaderos al pastoreo. En: M. Alfaro *et al.*, editores, Primera conferencia de gases

- de efecto invernadero en sistemas agropecuarios de Latinoamérica (GALA). Serie de Actas N° 54. INIA, Osorno, CHI. p. 25-31.
- Pinares, C. S., G. C. Waghorn, R. S. Hegarty, and S. O. Hoskin. 2009: Effects of intensification of pastoral farming on greenhouse gas emissions in New Zealand. *New Zealand Veter. J.*, 57:252-261.
- Pinares, C, and G. Waghorn. 2012. Technical manual on respiration chamber designs. Ministry of Agriculture and Forestry. New Zealand.
- Pinto, C. E. C. Martín y M. D. Cid. 2010. South american camelids: classification, origen and characteristics. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*. 4(1):2336.
- Polidori, P., C. Renieri, M. Antonini, and G. Lebboroni. 2007. Llama Meat Nutritional Properties. *Ital. J. Anim. Sci.*, 6 (S1): 857-858.
- Quispe C., 2015. Efecto de Dos Dietas Fibrosas en la Producción de Metano en Alpacas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann Tacna.
- Quispe, N. 2017. Emisión de metano entérico en alpacas al pastoreo en praderas andinas. Tesis de Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia Universidad Nacional del altiplano Puno- Perú.
- Raggi, L.A., Jiliberto, E., y Urquieta, B., 1994. Feeding and foraging behaviour of alpaca in northern Chile. *J. Arid Environ.* 26:73-77.
- Raghavendra, B., Osamu, E. and Mitsunori K. 2007. Measurement of Methane Production from Ruminants. *Asian-Aust. J. Animal.Sci.* Vol. 20, No. 8: 1305-1318.
- Ramírez, J. 2017. Efecto del nivel de consumo de alimento sobre la retención de energía en llamas y alpacas. Tesis de Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia Universidad Nacional del altiplano Puno- Perú.
- Randolph, T. F., E. Schelling, D. Grace, C. F. Nicholson, J. L. Leroy, D. C. Cole, M. W. Demment, A. Omere, J. Zinsstag, and M. Ruel. 2007. Invited Review: Role of

- livestock in human nutrition and health for poverty reduction in developing countries. *J. Anim. Sci.*, 85:2788-2800.
- Ravishankara, A. R., S. Solomon, A. A. Turnipseed, R. F. Warren. 1993. Atmospheric lifetimes of long-lived halogenated species. *Science*, 259:194-199.
- Reiner, R. J., and F. C. Bryant. 1986. Botanical composition and nutritional quality of alpaca diets in two Andean rangeland communities. *J. Range Manag.*, 39:424-427.
- Reiner, R. J., F. C. Bryant, R. D. Farfan, and B. F. Craddock. 1987. Forage intake of alpacas grazing andean rangeland in Perú. *J. Anim. Sci.*, 64:868-871.
- Richter, M., L. Křížová, J. Třináctý. 2010. The effect of individuality of animal on diurnal pattern of pH and redox potential in the rumen of dry cows. *Czech J. Anim. Sci.*, 55:401-407.
- Riek, A., and M. Gerken. 2007. Measurements of the body weight and other physical characteristics of 11 llamas (*Lama glama*) from birth to weaning. *Vet. Record J.*, 161:520-523.
- Riek, Alexander., Brinkmann, Lea., Gauly, Matthias., Perica, Jurcevic., Ruf, Thomas., Arnold, Walter., Hambly, Catherine., Speakman, John R., & Gerken, Martina., 2017. "Seasonal Changes in Energy Expenditure, Body Temperature and Activity Patterns in Llamas (*Lama Glama*)." *Scientific Reports* 7(1).  
<http://dx.doi.org/10.1038/s41598-017-07946-7>.
- Robinson, T.F., Sponheimer, M., Roeder, B.L., Passey, B., Cerling, T.E., Dearing, M.D., and Ehleringer, J.R., 2006. Digestibility and nitrogen retention in llamas and goats fed alfalfa, C3 grass, and C4 grass hays. *Small Ruminant Research*. 64: 162–168
- Roque, B. 2009. Determinación de los requerimientos energéticos de mantenimiento y ganancia de peso de alpacas (*Vicugna pacos*) en crecimiento mediante la técnica de sacrificio comparativo. Tesis Doctoral. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.
- Roque, B., J. L. Bautista, M. J. Aranibar, R. D. Rojas, D. Pineda, A. Flores, F. Rojas y C. Pinares. 2012. Uso de concentrado fibroso en el incremento de la productividad

- y la disminución de las emisiones de metano entérico en ganadería de altura. XXXV Reunión Científica Anual de la Asociación Peruana de Producción Animal (APPA 2012). Libro de Resúmenes, pp 11-19.
- Saeed M. A., M. H. Rashid, J. Vaughan, and A. Jabbar. 2018. Sarcocystosis in South American camelids: The state of play revisited. *Parasites & Vectors*, 11:146.
- San Martín, F., and F.C. Bryant. 1989. Nutrition of domesticated South American llamas and sheep. *Small Ruminant Res.* 2:191-216.
- San Martín F, Van Saun R. 2014. Applied digestive anatomy and feeding behaviour. In: Cebra C, Anderson D, Tibary A, Van Saun R, Johnson LR (eds). *Llama and alpaca care: medicine, surgery, reproduction, nutrition, and herd health*. Canada: Elsevier. p 51-58.
- Seiler, W. 1974. The cycle of atmospheric CO. *Tellus*, 26:116-135.
- SENAMHI, 2009. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, Boletín Regional. Publicado del mes junio; Dirección regional de Puno. (E-Mail: [dr13-puno@senamhi.gob.pe](mailto:dr13-puno@senamhi.gob.pe)).
- SENAMHI. 2018. Servicio nacional de meteorología e hidrografía Puno - Perú.
- Southey, B. R., T. Rodriguez, and D. L. Thomas. 2006. An evaluation of the growth and change in body dimensions from birth to maturity of the llama (*Lama glama*) and huarizo (crossbred camelid) in the Bolivian Andes. *South American Camelids research: Proceedings of the 4th European Symposium on South American Camelids and Decama European Seminar*, Gottingen. Martina Gerken and Carlo Renieri (ed.), Netherlands.
- Solozarno, C. (2010). Suplementacion de minerales en la produccion bovina – Mineral supplementation for cattle production. *Revista Electronica de Veterunaria*, 11(9), 10. Retrieved from, <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n090910/091009.pdf> <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n090910.html>

- Suman, S. P., and K. W. McMillin. 2014. Contributions of non-traditional meat animals to global food security and agricultural economy. *Anim. Front.*, 4:4-5.
- Sharp, R., Ziemer, C.J., Stern, M.D., and Stahl, D.A. 1998. Taxon-specific associations between protozoal and methanogen populations in the rumen and a model rumen system. *Fems microbiology ecology*. 26: 71-78.
- Smith, J., K. Sones, D. Grace, S. MacMillan, S. Tarawali, and M. Herrero. 2013. Beyond milk, meat, and eggs: Role of livestock in food and nutrition security. *Anim. Front.*, 3:6-13.
- Sponheimer, M., T. Robinson, B. Roeder, J. Hammer, L. Ayliffe, B. Passey, T. Cerling, D. Dearing, and J. Ehleringer, 2003. Digestion and passage rates of grass hays by llamas, alpacas, goats, rabbits and horses. Technical note. *Small Ruminant Research*. 48:149-154.
- Stakelum, G., and R. Dillon. 2003. The effect of grazing pressure on rotationally grazed pastures in spring/early summer on the performance of dairy cows in the summer/autumn period. *Irish J. Agric. Food Res.*, 46:29-46.
- Stuart, J R. 2018. "Un Procedimiento Simple Para Estimar La Producción de Metano y Dióxido de Carbono Del Ganado Vacuno En Pastoreo ." (June).
- Swainson, N. M., I. M. Brookes, S. O. Hoskin, and H. Clark. 2011. Post-experiment correction for release rate in permeation tubes improves the accuracy of the sulphur hexafluoride (SF 6) tracer technique in deer. *Anim. Feed Sci. Tech.* 166-167:192-197.
- Tajima, K., T., Nagamine, H. Matsui, M. Nakamura, and R.I. Aminov. 2001. Phylogenetic analysis of archaeal 16s rRNA libraries from the rumen suggests the existence of a novel group of archaeas not associated with known methanogens. *Fems microbiology letters*. 200: 67-72.
- Taherzadeh, M. J. and K. Karimi. 2008. Pretreatment of lignocellulosic wastes to improve ethanol and biogas production: A review. *Int. J. Molec. Sci.*, 9:1621-1651.

- Tayyab U., R. G. Wilkinson, G. L. Charlton, C. K. Reynolds, and L. A. Sinclair. 2018. Grass silage particle size when fed with or without maize silage alters performance, reticular pH and metabolism of Holstein-Friesian dairy cows. *Animal*, 9:1-9.
- Teye, F. K., E. Alkkiomaki, A. Simojoki, M. Pastell, and J. Ahokas. 2009. Instrumentation, measurement and performance of three air quality measurement systems for dairy buildings. *Appl. Eng. Agric.*, 25:247-256.
- Tian, H., G. Chen, C. Lu, X. Xu, W. Ren, B. Zhang, K. Banger, B. Tao, S. Pan, M. Liu, C. Zhang, L. Bruhwiler, and S. Wofsy. 2015. Global methane and nitrous oxide emissions from terrestrial ecosystems due to multiple environmental changes. *Ecosys. Health Sust.*, (1):4.
- Torres, G., T. Arbaiza, F. Carcelén, and L. Orlando. 2009. “Comparacion de las técnicas *in situ*, *in vitro* y enzimática (celulosa) para estimar la digestibilidad de forrajes, comparison of the *in situ*, *in vitro* and enzymatic (cellulase) techniques terry, 1963.” *Rev. Inv. Vet. Perú* 20(1): 5–9.
- Turner, H. G., and R. F. Thornton. 1966. A respiration chamber for cattle. Division of Animal Genetics, C.S.I.R.O., Cattle Research Laboratory, Rockhampton, Queensland. 413-419.
- Turner, A. J., D. J. Jacob, K. J. Wecht, *et al.*, 2015. Estimating global and North American methane emissions with high spatial resolution using GOSAT satellite data *Atmos. Chem. Phys.*, 15:7049-7069.
- Thauer, R.K., A.K. Kaster., H. Seedorf., W. Buckel., and R. Hedderich, R. 2008. Methanogenic archaea: ecologically relevant differences in energy conservation. *Nature Reviews in Microbiology*. 6: 579-91.
- Trabalza, M., C. Stelletta., D. Beghelli., and M. Morgante. 2001. Feeding behavior and energy metabolism of alpaca in central Italy during late pregnancy and early lactation. *Progress in South American Camelids research*, EAAP publication No 105.
- Thomson A. L., D. J. Humphries, A. K. Jones, and C. K. Reynolds. 2017. The effect of varying proportion and chop length of lucerne silage in a maize silage-based total

- mixed ration on diet digestibility and milk yield in dairy cattle. *Animal*, 11(12):2211-2219.
- Trotsenko, Y. A., J. C. Murrell. 2008. Metabolic aspects of aerobic obligate methanotrophy. *Adv. Appl. Microb.*, 63:183-229. 2014.
- Undersander, D., D. R. Mertens, and N. Thiex. 1993. *Forage Analyses Procedures*. National Forage Testing Assoc., Omaha, NE. 154 pp.
- Ulyatt, M. J., K. R. Lassey, I. D. Shelton, and C. F. Walker. 2002. "Methane emission from dairy cows and wether sheep fed subtropical grass-dominant pastures in midsummer in New Zealand." *New Zealand Journal of Agricultural Research* 45(4):227-34.
- Vallenas, A., Cummings, J.F., and Munnell, J.F., 1971. A gross study of the compartmentalized stomach of two New-World Camelids, the llama and guanaco. *J. Morph.* 134:399-424.
- Van Saun, R.J. 2006. Vitamin D and phosphorus interrelationships in alpacas. Pp. 123-126, In: *Proceedings Australian Alpaca Association National Conference*, Adelaide, South Australia, Australia, August 18-20, 2006.
- Van Saun, R.J., 2006. Nutrient requirements of South American camelids: A factorial approach. *Small Rum. Res.* 61:165-186.
- Van Soest, P.J. 1982. *Nutritional ecology of the ruminant: ruminant metabolism, nutritional strategies, the cellulolytic fermentation and the chemistry of forages and plant fibers*. O And B Books, Corvallis, Oregon.
- Vargas Martínez, Juan de Jesús. 2013. "Producción de Metano in Vitro e in Vivo de Gramíneas y Leguminosas Presentes En Sistemas de Producción Bovina En Trópico Alto Colombiano." : 137. <http://www.bdigital.unal.edu.co/11743/>.
- Vargas, J. (2016). Calidad de los forrajes para rumiantes. Sitio Argentino de Producción Animal, 1–3. Retrieved from [www.produccion-animal.com.ar](http://www.produccion-animal.com.ar)
- Wang, M., R. Wang, X. Sun, L. Chen, S. Tang, C. Zhou, X. Han, J. Kang, Z. Tan, and Z. He. 2015. A mathematical model to describe the diurnal pattern of enteric

- methane emissions from non-lactating dairy cows post-feeding. *Anim. Nutr.*, 1:329-338.
- Warmington, B.G., Wilson, F.G., and Barry, T.N., 1989. Voluntary intake and digestión of ryegrass Straw by llama x guanaco cross breeds and sheep. *Journal of Agricultural Science* 113:87-91
- Wurzinger, M., J. Delgado, M. Nürnberg, A. Valle Zárate, A. Stemmer, G. Ugarte, and J. Sölkner. 2005. Growth curves and genetic parameters for growth traits in Bolivian llamas. *Livest. Prod. Sci.*, 95:73-81.
- Wright, A.D.G., A.J Williams., B Winder. C.T Christophersen., S.L Rodgers., and K.D. Smith, 2004. Molecular Diversity of Rumen Methanogens from Sheep in Western Australia. *Applied and Environmental Microbiology*, 70: 1263.
- Yang, W.Z., Beauchemin, K.A. (2005). Effects of physically effective fiber on digestion and milk production by dairy cows fed diets based on corn silage. *Journal of Dairy Science*, 88:1090–1098.
- Zhao Y. G., R. Annett, and T. Yan. 2017. Effects of forage types on digestibility, methane emissions, and nitrogen utilization efficiency in two genotypes of hill ewes. *J. Anim. Sci.*, 95(8):3762-3771.

# ANEXOS

**Anexo 1. Panel fotográfico**



*Figura 10. Cabaña Iloketa.*



*Figura 11. Población de llamas y alpacas.*



*Figura 12. Selección de llamas y alpacas.*



*Figura 13. Traslado de los animales al centro de investigación.*



*Figura 14. Fase de acostumbramiento de los animales con pastos naturales.*



*Figura 15. Fase de acostumbramiento en cercos con malla metálica..*



*Figura 16.* Fase de acostumbramiento de llamas al heno de avena y alfalfa.



*Figura 17.* Fase de acostumbramiento de alpacas al heno de avena y alfalfa.



*Figura 18.* Sujeción de los animales para desparasitación.



*Figura 19.* Desparasitación de los animales.



*Figura 20.* Adquisición de henos de avena y alfalfa.



*Figura 21.* Almacén de henos de avena y alfalfa.



Figura 22. Molino picador forrajero marca Trapp, modelo TRF – 800.



Figura 23. Picador forrajero marca Trapp, modelo ES – 600.



Figura 24. Procesamiento mecánico de los forrajes.



Figura 25. Operación del molino y picador forrajero.



Figura 26. Pesado de las fuentes minerales, sal común y rocsalfos.



Figura 27. Adición de suplementos mineral a las dietas ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ).



*Figura 28.* Pesado de los henos molidos y picados para su mezcla.



*Figura 29.* Preparación y mesclado de las dietas experimentales.



*Figura 30.* Separación de las dietas experimentales A y B.



*Figura 31.* Dieta experimental A; 12 mm  $\phi$  de tamaño partícula.



*Figura 32.* Dieta experimental B; 24 mm  $\phi$  de tamaño partícula.



*Figura 33.* Pesado del alimento para llamas.



*Figura 34.* Pesado del alimento para alpacas.



*Figura 35.* Pesado de alimento para los grupos A y B de llamas y alpacas.



*Figura 36.* Alimentación de llamas del grupo A; 12 mm  $\phi$ .



*Figura 37.* Alimentación de llamas del grupo B; 24 mm  $\phi$ .



*Figura 38.* Alimentación de alpacas del grupo A; 12 mm  $\phi$ .



*Figura 39.* Alimentación de alpacas del grupo B; 24 mm  $\phi$ .



*Figura 40.* Consumo de alimento, llamas del grupo A 12 mm  $\phi$ .



*Figura 41.* Consumo de alimento, llamas del grupo B 12 mm  $\phi$ .



*Figura 42.* Consumo de alimento, alpacas del grupo A; 12 mm  $\phi$ .



*Figura 43.* Consumo de alimento, alpacas del grupo B; 24 mm  $\phi$ .



*Figura 44.* Limpieza de los bebederos.



*Figura 45.* Suministro de agua a libre consumo.



*Figura 46.* Control de peso en llamas.



*Figura 47.* Control de peso en llamas.



*Figura 48.* Control de peso en alpacas.



*Figura 49.* Control de peso en alpacas.



*Figura 50.* Cámara para acumulación de gases.



*Figura 51.* Equipos y material para la medición de metano entérico.



*Figura 52.* Instalación del equipo gasset DX 4030.



*Figura 53.* Control de la temperatura en la cámara.



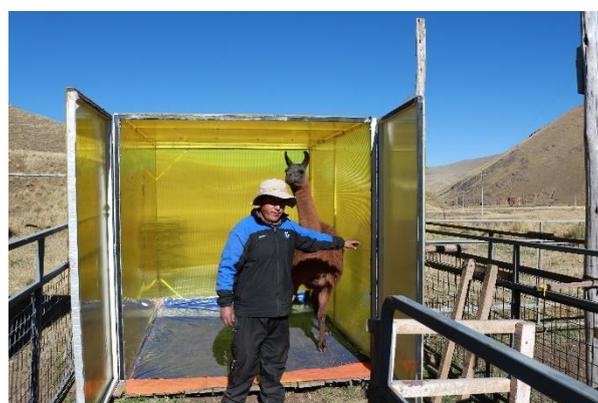
*Figura 54.* Ingreso de llamas al interior de la cámara.



*Figura 55.* Medición de metano entérico.



*Figura 56.* Sellado de la cámara de acumulación de gases.



*Figura 57.* Salida de los animales del interior de la cámara luego del min 20.

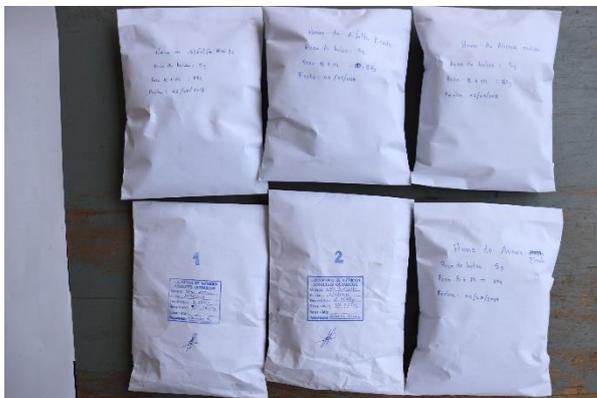




*Figura 64.* Medición del largo corporal en alpacas.



*Figura 65.* Medición del perímetro torácico en alpacas.



*Figura 66.* Determinación de materia seca de los forrajes.



*Figura 67.* Heno de avena molido a 12 mm  $\varnothing$  de tamaño partícula; grupo A.



*Figura 68.* Heno de avena picado a 24 mm  $\varnothing$  de tamaño partícula; grupo B.



*Figura 69.* Heno de Alfalfa molido a 12 mm  $\varnothing$  de tamaño partícula; grupo A.



Figura 70. Heno de alfalfa picado a 24 mm ø de tamaño partícula; grupo B.



Figura 71. Molido de los forrajes para análisis químico.

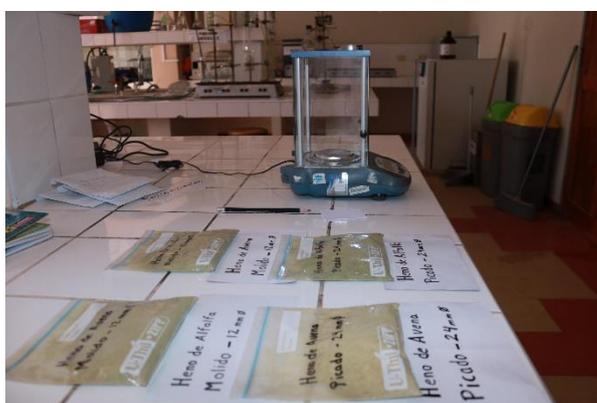


Figura 72. Muestreo y pesado de forrajes para análisis químico.



Figura 73. Pesado de muestras para análisis químico.



Figura 74. Crisol con muestras de forrajes.



Figura 75. Determinación de cenizas totales



Figura 76. Determinación de extractó eterio.



Figura 77. Extractor Soxhlet.



Figura 78. Adición de solución digestora.



Figura 79. Valón Kjeldahl con muestra más ácido.



Figura 80. Destilación de la muestra.



Figura 81. Titulación de muestra.

**Determinación de fibra detergente neutro (FDN) de los forrajes.**



*Figura 82.* Adición de solución FDN.



*Figura 83.* Ebullición de la muestra con solución FDN.



*Figura 84.* Ebullición y refrigeración de la muestra.



*Figura 85.* Lavado de la porción insoluble de la muestra.



*Figura 86.* Lavado con agua destilada caliente.



*Figura 87.* Secado e incineración de la muestra en crisol.

**Análisis de los forrajes por calorímetro de bomba**



*Figura 88.* Equipo bomba calorimétrica



*Figura 89.* Operación del calorímetro.



*Figura 90.* Registro de peso y temperatura del agua destilada.



*Figura 91.* Recuperación de ácido sulfúrico después de la combustión.



*Figura 92.* Adición de rojo de metileno.



*Figura 93.* Titulación con carbonato de sodio hasta color salmón.

**Anexo 2.** Determinación del consumo de materia seca en llamas y alpacas, grupos experimentales A; 12 mm  $\phi$  y B; 24 mm  $\phi$

Tabla 20

*Consumo de materia seca en llamas del grupo A, alimentada con tamaño de partícula 12 mm  $\phi$*

Llamas Grupo A			Peso corporal				Energía Metabolizable (EM)				Consumo de materia seca (MS)				
N°	Arete	Inicial Kg	Final Kg	Peso $\bar{x}$ , Kg	General Kg	Metabólico $W_{kg}^{0.75}$	Ganancia Kg	g/día	PC Kcal/día	RE Kcal/día	EM Kcal/día	EM Kcal/Kg MS	EM Kg/día	MS Kg/día	MSI $g/W_{kg}^{0.75}/d$
1A	16LL033E	92.20	107.20	101.20	31.90	167.94	15.00	166.67	2773.70	1813.30	4587.00	2178	2.110	66.02	
2A	S/A	87.80	96.80	93.67	30.11	167.94	9.00	100.00	2618.10	1088.00	3706.10	2178	1.700	56.51	
3A	S/A	114.60	130.00	124.07	37.17	167.94	15.40	171.11	3231.90	1861.70	5093.60	2178	2.340	62.92	
4A	16LL047E	110.80	127.40	118.60	35.93	167.94	16.60	184.44	3124.10	2006.80	5130.90	2178	2.360	65.57	
5A	16LL024E	90.00	115.00	105.20	32.83	167.94	25.00	277.78	2854.60	3022.20	5876.80	2178	2.700	82.19	
Suma		495.40	576.40	542.74	167.94	167.94	81.00	900.00	14602.38	9792.00	24394.38	10890	11.200	333.21	
Promedio		99.08	115.28	108.55	33.59	167.94	16.20	180.00	2920.48	1958.40	4878.88	2178	2.240	66.64	
Desv. Est.		12.60	13.88	12.54	2.91	167.94	5.73	63.71	252.89	693.19	800.95	0	0.370	9.48	
CV, %		12.72	12.04	11.55	8.66	167.94	35.40	35.40	8.66	35.40	16.42	0	16.420	14.23	
Max.		114.60	130.00	124.07	37.17	167.94	25.00	277.78	3231.93	3022.22	5876.79	2178	2.700	82.19	
Mín.		87.80	96.80	93.67	30.11	167.94	9.00	100.00	2618.06	1088.00	3706.06	2178	1.700	56.51	

Tabla 21

*Consumo de materia seca en llamas del grupo B, alimentados con tamaño de partícula 24 mm  $\phi$*

Llamas Grupo B			Peso corporal				Energía Metabolizable (EM)				Consumo de materia seca (MS)				
N°	Arete	Inicial Kg	Final Kg	Peso $\bar{x}$ , Kg	General Kg	Metabólico $W_{kg}^{0.75}$	Ganancia Kg	g/día	PC Kcal/día	RE Kcal/día	EM Kcal/día	EM Kcal/Kg MS	EM Kg/día	MS Kg/día	MSI $g/W_{kg}^{0.75}/d$
1B	16LL053E	105.40	127.60	118.47	35.89	178.47	22.20	246.67	3120.60	2683.70	5804.40	2178	2.660	74.25	
2B	16LL013E	93.80	112.00	106.77	33.20	178.47	18.20	202.22	2886.70	2200.20	5086.90	2178	2.340	70.35	
3B	16LL023F	106.20	131.80	121.57	36.60	178.47	25.60	284.44	3182.40	3094.80	6277.10	2178	2.880	78.74	
4B	16LL032E	103.40	128.20	119.17	36.05	178.47	24.80	275.56	3134.50	2998.00	6132.60	2178	2.820	78.11	
5B	16LL009E	107.80	129.60	122.17	36.73	178.47	21.80	242.22	3193.70	2635.40	5829.10	2178	2.680	72.87	
Suma		516.60	629.20	588.15	178.47	178.47	112.60	1251.11	15517.97	13612.09	29130.06	10890	13.370	374.32	
Promedio		103.32	125.84	117.63	35.69	178.47	22.52	250.22	3103.59	2722.42	5826.01	2178	2.670	74.86	
Desv. Est.		5.55	7.90	6.27	1.44	178.47	2.91	32.38	125.09	352.28	459.41	0	0.210	3.55	
CV, %		5.37	6.28	5.33	4.03	178.47	12.94	12.94	4.03	12.94	7.89	0	7.890	4.74	
Max.		107.80	131.80	122.17	36.73	178.47	25.60	284.44	3193.67	3094.76	6277.13	2178	2.880	78.74	
Mín.		93.80	112.00	106.77	33.20	178.47	18.20	202.22	2886.74	2200.18	5086.92	2178	2.340	70.35	

Tabla 22  
*Consumo de materia seca en Alpacas del grupo A, alimentada con tamaño de partícula 12 mm φ*

Alpacas Grupo A		Peso corporal				Energía Metabolizable (EM)				Consumo de materia seca (MS)			
		Inicial Kg	Final Kg	Peso $\bar{x}$ , Kg	General Metabólico $W_{kg}^{0.75}$	Ganancia Kg	Ganancia g/día	PC Kcal/día	RE Kcal/día	EM Kcal/día	EM Kcal/Kg MS	EM Kg/día	MSI g/ $W_{kg}^{0.75}$ /d
N°	Arete												
1A	16H784F	51.60	58.20	55.80	20.41	6.60	73.33	1708.10	797.90	2506.00	2178	1.150	56.37
2A	16H607F	46.80	53.80	50.93	19.06	7.00	77.78	1595.10	846.20	2441.40	2178	1.120	58.81
3A	16H102E	50.20	58.00	54.70	20.11	7.80	86.67	1683.00	942.90	2625.90	2178	1.210	59.95
4A	16H522F	47.40	53.80	50.57	18.96	6.40	71.11	1586.80	773.70	2360.50	2178	1.080	57.16
5A	16H512F	49.40	58.00	53.97	19.91	8.60	95.56	1666.30	1039.60	2705.90	2178	1.240	62.40
Suma		245.40	281.80	265.97	98.45	36.40	404.44	8239.28	4400.36	12639.64	10890	5.800	294.70
	Promedio	49.08	56.36	53.19	19.69	7.28	80.89	1647.86	880.07	2527.93	2178	1.160	58.94
	Desv. Est.	1.98	2.34	2.33	0.65	0.91	10.13	54.12	110.27	139.02	0	0.060	2.39
	CV, %	4.04	4.15	4.38	3.28	12.53	12.53	3.28	12.53	5.50	0	5.500	4.05
	Max.	51.60	58.20	55.80	20.41	8.60	95.56	1708.11	1039.64	2705.91	2178	1.240	62.40
	Mín.	46.80	53.80	50.57	18.96	6.40	71.11	1586.76	773.69	2360.45	2178	1.080	56.37

Tabla 23  
*Consumo de materia seca en Alpacas del grupo B, alimentados con tamaño de partícula 24 mm φ*

Alpacas Grupo B		Peso corporal				Energía Metabolizable (EM)				Consumo de materia seca (MS)			
		Inicial Kg	Final Kg	Peso $\bar{x}$ , Kg	General Metabólico $W_{kg}^{0.75}$	Ganancia Kg	Ganancia g/día	PC Kcal/día	RE Kcal/día	EM Kcal/día	EM Kcal/Kg MS	EM Kg/día	MSI g/ $W_{kg}^{0.75}$ /d
N°	Arete												
1B	16H158E	49.80	54.60	52.60	19.53	4.80	53.33	1634.50	580.30	2214.70	2178	1.020	52.07
2B	16H648F	54.80	64.40	60.90	21.79	9.60	106.67	1823.60	1160.50	2984.10	2178	1.370	62.88
3B	16H635F	49.40	57.80	54.40	20.02	8.40	93.33	1675.50	1015.50	2690.90	2178	1.240	61.71
4B	16H160F	48.40	57.40	53.37	19.74	9.00	100.00	1652.00	1088.00	2740.00	2178	1.260	63.73
5B	16H601F	47.20	54.20	51.33	19.17	7.00	77.78	1604.30	846.20	2450.60	2178	1.130	58.69
Suma		249.60	288.40	272.60	100.25	38.80	431.11	8389.92	4690.49	13080.41	10890	6.010	299.08
	Promedio	49.92	57.68	54.52	20.05	7.76	86.22	1677.98	938.10	2616.08	2178	1.200	59.82
	Desv. Est.	2.91	4.09	3.74	1.02	1.92	21.28	85.44	231.53	293.65	0	0.130	4.73
	CV, %	5.82	7.09	6.86	5.09	24.68	24.68	5.09	24.68	11.22	0	11.220	7.91
	Max.	54.80	64.40	60.90	21.79	9.60	106.67	1823.61	1160.53	2984.14	2178	1.370	63.73
	Mín.	47.20	54.20	51.33	19.17	4.80	53.33	1604.34	580.27	2214.73	2178	1.020	52.07

**Anexo 3.** Determinación del consumo de materia seca en llamas y alpacas al pastoreo.

Tabla 24

*Determinación de los requerimientos energéticos en términos de energía metabolizable a partir de la tasa metabólica de campo para llamas y alpacas al pastoreo.*

Estación	Temperatura	EM	EM	Tasa Metabólica de
	°C	Kj/W <sub>Kg</sub> <sup>0.75</sup> /d	1Kcal=4.184Kj	campo, EM Kcal/W <sub>Kg</sub> <sup>0.75</sup> /d
Invierno	2.0	402.0	4.184	96.08
Verano	16.0	586.0	4.184	140.06
Promedio	9.0	494.0	4.184	118.07

Fuente: (Riek *et al.* 2017), Seasonal changes in energy expenditure, body temperature and activity patterns in llamas (*Lama glama*).

Tabla 25

*Determinación de energía metabolizable de los pastos naturales a partir de NDT, para llamas y alpacas.*

Especie	FDN <sup>1</sup>	NDTm <sup>2</sup>	NDTm	EM <sup>3</sup>	EM
	%	%	g	Cal/g NDT	Kcal/d
Llamas	70.58	58.12	581.23	3.6	2092.43
Alpacas	67.10	60.44	604.44	3.6	2175.99

<sup>1</sup>Fibra detergente neutro del bolo alimenticio de las Llamas y Alpacas en pastoreo (Choquemamani, 2017; Quispe, 2017).

<sup>2</sup> Los nutrientes digestibles totales (NDT) se estimó a partir de su contenido de fibra detergente neutro (FDN, % de la materia seca), mediante las ecuaciones de Mertens desarrolladas para animales rumiantes. Las llamas y alpacas consumían mayormente Gramíneas: y se utilizó el factor de conversión de %NDTm = 105.2 - (0.667xFDN).

<sup>3</sup> A partir del contenido de NDT se estimó el contenido de energía metabolizable de los forrajes, mediante modelos de predicción de uso en animales rumiantes. 3.60 Kcal/g NDT (Undersander *et al.*, 1993).

Tabla 26  
Consumo de materia seca en Llamas del grupo C, alimentados en pastoreo.

Llamas Grupo C		Peso corporal			Requerimiento, EM			Consumo de materia seca (MS)		
N°	Arete	Inicial Kg	Final Kg	Peso $\bar{X}$ , General Kg	Metabólico $W_{kg}^{0.75}$	EM $Kcal/W_{kg}^{0.75}/d$	EM $Kcal/día$	EM/Pasto natural $Kcal/Kg MS$	Kg/día	MSI $g/W_{kg}^{0.75}/d$
1C	16LL096F	96.80	101.20	99.00	31.39	118.07	3706.18	2092.43	1.771	56.43
2C	16LL054E	85.40	100.20	92.80	29.90	118.07	3530.26	2092.43	1.687	56.43
3C	16LL130F	97.40	107.20	102.30	32.17	118.07	3798.27	2092.43	1.815	56.43
4C	16LL028F	84.80	86.40	85.60	28.14	118.07	3322.46	2092.43	1.588	56.43
5C	16LL110F	86.90	90.20	88.60	28.87	118.07	3408.65	2092.43	1.629	56.43
Suma		451.30	485.20	468.25	150.46	590.34	17764.77	10462.17	8.490	282.14
Promedio		90.26	97.04	93.65	30.09	118.07	3552.95	2092.43	1.700	56.43
Desv. Est.		6.29	8.52	6.98	1.68	0.00	198.62	0.00	0.090	0.00
CV, %		6.97	8.78	7.46	5.59	0.00	5.59	0.00	5.590	0.00
Max.		97.40	107.20	102.30	32.17	118.07	3797.92	2092.43	1.820	56.43
Mín.		84.80	86.40	85.60	28.14	118.07	3322.73	2092.43	1.590	56.43

Tabla 27  
Consumo de materia seca en Alpacas del grupo C, alimentados en pastoreo.

Alpacas Grupo C		Peso corporal			Requerimiento, EM			Consumo de materia seca (MS)		
N°	Arete	Inicial Kg	Final Kg	Peso $\bar{X}$ , General Kg	Metabólico $W_{kg}^{0.75}$	EM $Kcal/W_{kg}^{0.75}/d$	EM $Kcal/día$	EM/Pasto natural $Kcal/Kg MS$	Kg/día	MSI $g/W_{kg}^{0.75}/d$
1C	16H786M	53.30	58.20	55.80	20.40	118.07	2408.60	2175.99	1.107	54.26
2C	16H700F	52.80	59.40	56.10	21.40	118.07	2526.67	2175.99	1.161	54.26
3C	16H665F	45.40	52.00	48.70	19.36	118.07	2285.81	2175.99	1.050	54.26
4C	16H241F	38.80	48.60	43.70	18.41	118.07	2173.65	2175.99	0.999	54.26
5C	16H357E	47.40	54.60	51.00	20.09	118.07	2372.00	2175.99	1.090	54.26
Suma		237.70	272.80	255.25	99.66	590.34	428.05	10879.97	5.407	271.30
Promedio		47.54	54.56	51.05	19.93	118.07	85.61	2175.99	1.081	54.26
Desv. Est.		5.95	4.44	5.18	1.12	0.00	21.65	0.00	0.061	0.00
CV, %		12.53	8.13	10.14	5.63	0.00	25.29	0.00	5.631	0.00
Max.		53.30	59.40	56.10	21.40	118.07	119.51	2175.99	1.161	54.26
Mín.		38.80	48.60	43.70	18.41	118.07	59.76	2175.99	0.999	54.26



Tabla 30

Ganancia de peso en Alpacas del grupo A, alimentados con tamaño de partícula 12 mm  $\phi$

N°	Arete	Alpacas Grupo A					Peso corporal			Ganancia de peso corporal			
		0 días	30 días	45 días	60 días	75 días	90 días	Promedio	$W_{kg}^{0.75}$	Kg	g/días	Kg/días	$g/W_{kg}^{0.75}/día$
1A	16H784F	51.60	53.80	56.00	57.20	58.00	58.20	55.80	20.40	6.60	73.33	0.073	3.59
2A	16H607F	46.80	48.20	50.40	52.60	53.80	53.80	50.90	19.10	7.00	77.78	0.078	4.08
3A	16H102E	50.20	52.00	54.40	57.00	56.60	58.00	54.70	20.10	7.80	86.67	0.087	4.31
3A	16H522F	47.40	48.80	49.00	51.60	52.80	53.80	50.60	19.00	6.40	71.11	0.071	3.75
5A	16H512F	49.40	51.40	54.00	55.40	55.60	58.00	54.00	19.90	8.60	95.56	0.096	4.80
Suma		245.40	254.20	263.80	273.80	276.80	281.80	265.97	98.47	36.40	404.44	0.404	20.53
Promedio		49.08	50.84	52.76	54.76	55.36	56.36	53.19	19.69	7.28	80.89	0.081	4.11
Dev. Est.		1.98	2.32	2.93	2.55	2.09	2.34	2.33	0.65	0.91	10.13	0.010	0.48
CV, %		4.04	4.57	5.56	4.66	3.78	4.15	4.38	3.29	12.53	12.53	12.529	11.64
Max.		51.60	53.80	56.00	57.20	58.00	58.20	55.80	20.42	8.60	95.56	0.096	4.80
Mín.		46.80	48.20	49.00	51.60	52.80	53.80	50.57	18.96	6.40	71.11	0.071	3.59

Tabla 31

Ganancia de peso en Alpacas del grupo B, alimentados con tamaño de partícula 24 mm  $\phi$

N°	Arete	Alpacas Grupo B					Peso corporal			Ganancia de peso corporal			
		0 días	30 días	45 días	60 días	75 días	90 días	Promedio	$W_{kg}^{0.75}$	Kg	g/días	Kg/días	$g/W_{kg}^{0.75}/día$
1B	16H158E	49.80	50.00	53.20	53.40	54.60	54.60	52.60	19.50	4.80	53.33	0.053	2.73
2B	16H648F	54.80	59.60	60.40	62.40	63.80	64.40	60.90	21.80	9.60	106.67	0.107	5.46
3B	16H635F	49.40	52.00	53.40	56.20	57.60	57.80	54.40	20.00	8.40	93.33	0.093	4.28
4B	16H160F	48.40	51.40	51.60	55.00	56.40	57.40	53.40	19.70	9.00	100.00	0.100	4.99
5B	16H601F	47.20	50.00	50.80	52.00	53.80	54.20	51.30	19.20	7.00	77.78	0.078	3.94
Suma		249.60	263.00	269.40	279.00	286.20	288.40	272.60	100.29	38.80	431.11	0.431	21.40
Promedio		49.92	52.60	53.88	55.80	57.24	57.68	54.52	20.06	7.76	86.22	0.086	4.28
Dev. Est.		2.91	4.01	3.80	4.02	3.96	4.09	3.74	1.02	1.92	21.28	0.021	1.05
CV, %		5.82	7.62	7.06	7.20	6.92	7.09	6.86	5.10	24.68	24.68	24.680	24.55
Max.		54.80	59.60	60.40	62.40	63.80	64.40	60.90	21.80	9.60	106.67	0.107	5.46
Mín.		47.20	50.00	50.80	52.00	53.80	54.20	51.33	19.18	4.80	53.33	0.053	2.73

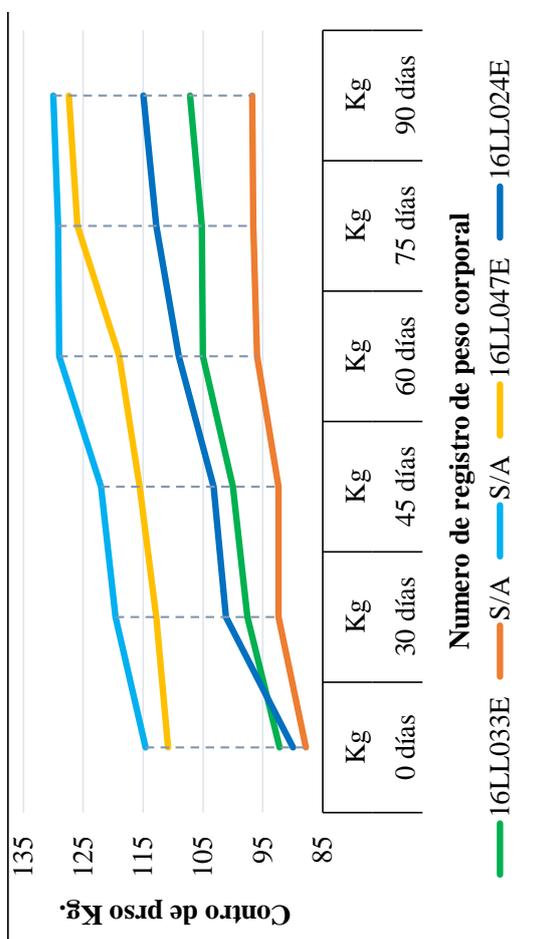


Figura 94. Incremento de peso en llamas del grupo A (12 mm  $\phi$ )

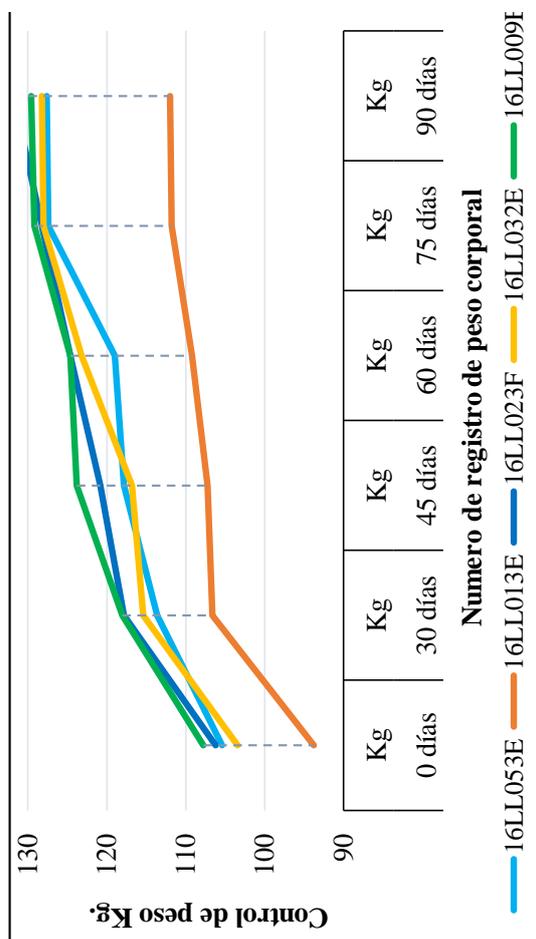


Figura 95. Incemento de peso en llamas del grupo B (24 mm  $\phi$ )

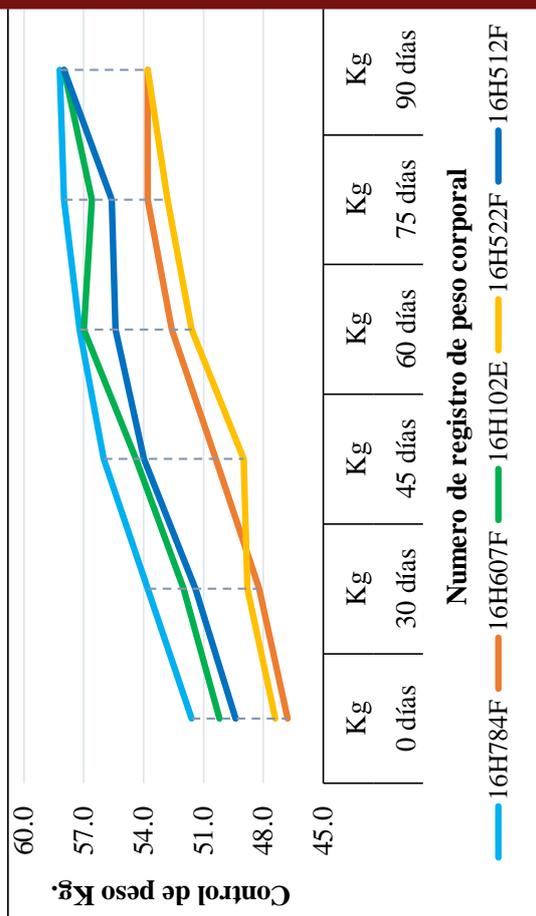


Figura 96. Incremento de peso en alpacas del grupo A (12 mm  $\phi$ )

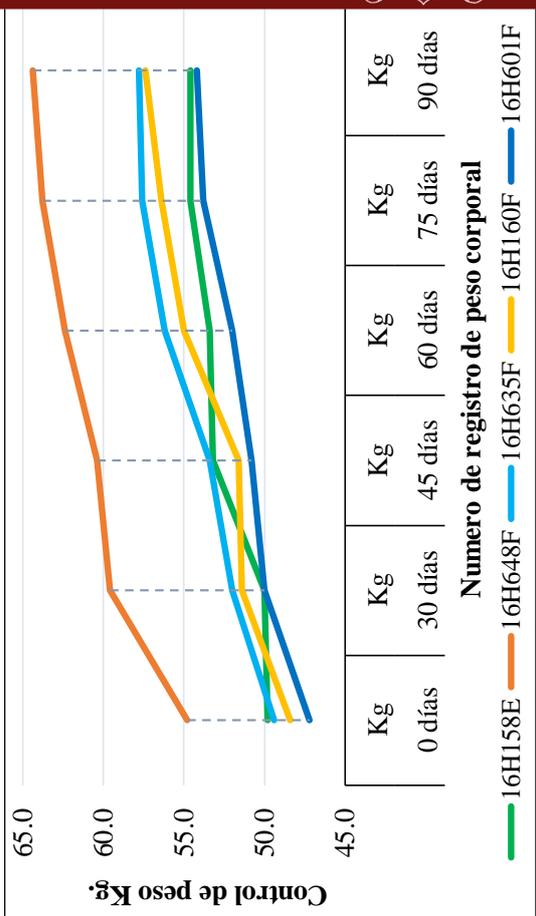


Figura 97. Incemento de peso en alpacas del grupo B (24 mm  $\phi$ )

**Anexo 5.** Producción de metano en llamas y alpacas, grupos experimentales A; 12 mm  $\phi$  y B; 24 mm  $\phi$

Tabla 32

*Producción de metano entérico en llamas del grupo A, alimentado con tamaño de partícula 12 mm  $\phi$*

Llamas Grupo A	Peso vivo, Kg		MSI	Concentración de CH4 en la cámara, mín 20					Producción de CH4								
	$\bar{X}$ , General	$W_{Kg}^{0.75}$		ppm	T °C	ng/m3	Vol. Cám.	Vol. Aním.	ng/Cám.	g/d	CO <sub>2</sub> eq	g/W <sub>Kg</sub> <sup>0.75</sup>	mol/d	g/Kg MSI	Kcal/d	L/d	L/Kg MSI
1A 16LL033E	101.20	31.90	2.106	44.42	31.03	9.80	0.12	300.33	21.62	540.59	0.68	0.42	10.27	287.10	52.27	24.82	1.04
2A S/A	93.67	30.11	1.702	41.73	29.14	9.80	0.10	282.41	20.33	508.33	0.68	0.35	11.95	269.97	49.17	28.90	1.63
3A S/A	124.07	37.17	2.339	52.98	37.00	9.80	0.15	357.00	25.70	642.60	0.69	0.36	10.99	341.28	62.16	26.58	1.67
4A 16LL023F	118.60	35.93	2.356	61.04	42.33	9.80	0.12	409.48	29.48	737.07	0.82	0.34	12.52	391.45	71.81	30.48	2.00
5A 16LL024E	105.20	32.83	2.698	53.98	37.25	9.80	0.14	359.50	25.88	647.09	0.79	0.29	9.59	343.66	63.35	23.48	1.93
Promedio	108.55	33.59	2.240	50.83	35.55	9.80	0.13	341.74	24.61	615.14	0.73	0.35	11.06	326.69	59.75	26.85	1.77
Desv. Est.	12.54	2.91	0.368	7.79	5.30	0.00	0.02	50.92	3.67	91.66	0.07	0.05	1.19	48.68	9.11	2.87	0.18
CV, %	11.55	8.66	16.417	15.32	14.98	0.00	14.07	14.90	14.90	14.90	9.38	13.13	10.79	14.90	15.25	10.69	9.89
Max.	124.07	37.17	2.698	61.04	42.33	9.80	0.15	409.48	29.48	737.07	0.82	0.42	12.52	391.45	71.81	30.48	2.00
Mín.	93.67	30.11	1.702	41.73	29.14	9.80	0.10	282.41	20.33	508.33	0.68	0.29	9.59	269.97	49.17	23.48	1.63

Tabla 33

*Producción de metano entérico en llamas del grupo B, alimentado con tamaño de partícula 24 mm  $\phi$*

Llamas Grupo B	Peso vivo, Kg		MSI	Concentración de CH4 en la cámara, mín 20					Producción de CH4								
	$\bar{X}$ , General	$W_{Kg}^{0.75}$		ppm	T °C	ng/m3	Vol. Cám.	Vol. Aním.	ng/Cám.	g/d	CO <sub>2</sub> eq	g/W <sub>Kg</sub> <sup>0.75</sup>	mol/d	g/Kg MSI	Kcal/d	L/d	L/Kg MSI
1A 16LL053E	118.47	35.89	2.665	54.82	38.26	9.80	0.13	369.66	26.62	665.38	0.74	1.66	9.99	353.38	64.41	24.17	1.79
2A 16LL013E	106.77	33.20	2.336	50.81	35.84	9.80	0.12	346.84	24.97	624.31	0.75	1.56	10.69	331.57	59.79	25.60	1.80
3A 16LL047E	121.57	36.60	2.882	45.66	31.72	9.80	0.12	306.80	22.09	552.23	0.60	1.38	7.66	293.28	53.70	18.63	1.47
4A 16LL032E	119.17	36.05	2.816	65.62	45.07	9.80	0.12	436.03	31.39	784.86	0.87	1.96	11.15	416.83	77.19	27.42	2.14
5A 16LL009E	122.17	36.73	2.676	59.34	40.66	9.80	0.14	392.42	28.25	706.36	0.77	1.76	10.56	375.14	69.64	26.02	1.90
Promedio	117.63	35.69	2.675	55.25	38.31	9.80	0.13	370.35	26.67	666.63	0.75	1.66	10.01	354.04	64.95	24.37	1.82
Desv. Est.	6.27	1.44	0.211	7.68	5.02	0.00	0.01	48.46	3.49	87.23	0.10	0.22	1.38	46.33	9.02	3.41	0.24
CV, %	5.33	4.03	7.886	13.91	13.10	0.00	8.10	13.09	13.09	13.09	12.77	13.09	13.74	13.09	13.89	13.99	13.30
Max.	122.17	36.73	2.882	65.62	45.07	9.80	0.14	436.03	31.39	784.86	0.87	1.96	11.15	416.83	77.19	27.42	2.14
Mín.	106.77	33.20	2.336	45.66	31.72	9.80	0.12	306.80	22.09	552.23	0.60	1.38	7.66	293.28	53.70	18.63	1.47

Tabla 34  
Producción de metano entérico en Alpacas del grupo A, alimentado con tamaño de partícula 12 mm  $\phi$

N° Arete	Peso vivo, Kg		MSI Kg/d	Concentración de CH4 en la cámara, min 20				Producción de CH4										
	$\bar{X}$ , General	$W_{kg}^{0.75}$		T °C	ppm	mg/m3	Vol. Cám.	Vol. Anim.	mg/Cám	g/d	CO <sub>2,eq</sub> g/W <sub>kg</sub> <sup>0.75</sup>	mol/d	g/Kg MSI	Kcal/d	L/d	L/Kg MSI	LW <sub>kg</sub> <sup>0.75</sup>	
1A	55.80	20.41	1.151	4.30	29.00	20.44	9.80	0.07	198.74	14.31	357.73	0.70	0.89	12.44	189.99	34.29	29.81	1.68
2A	50.93	19.06	1.121	7.00	24.60	17.17	9.80	0.06	167.16	12.04	300.89	0.63	0.75	10.74	159.80	29.13	25.98	1.53
3A	54.70	20.11	1.206	8.70	19.77	13.71	9.80	0.07	133.35	9.60	240.04	0.48	0.60	7.96	127.48	23.38	19.39	1.16
4A	50.57	18.96	1.084	11.00	21.28	14.64	9.80	0.06	142.52	10.26	256.54	0.54	0.64	9.47	136.24	25.19	23.24	1.33
5A	53.97	19.91	1.242	12.70	23.90	16.35	9.80	0.06	159.17	11.46	286.51	0.58	0.71	9.22	152.16	28.30	22.78	1.42
Promedio	53.19	19.69	1.161	8.74	23.71	16.46	9.80	0.06	160.19	11.53	288.34	0.59	0.72	9.97	153.13	28.06	24.24	1.42
Desv. Est.	2.33	0.65	0.064	3.30	3.54	2.61	0.00	0.01	25.34	1.82	45.61	0.09	0.11	1.70	24.22	4.19	3.90	0.20
CV, %	4.38	3.28	5.499	37.75	14.95	15.83	0.00	9.94	15.82	15.82	15.82	14.60	15.82	17.02	15.82	14.94	16.07	13.78
Max.	55.80	20.41	1.242	12.70	29.00	20.44	9.80	0.07	198.74	14.31	357.73	0.70	0.89	12.44	189.99	34.29	29.81	1.68
Mín.	50.57	18.96	1.084	4.30	19.77	13.71	9.80	0.06	133.35	9.60	240.04	0.48	0.60	7.96	127.48	23.38	19.39	1.16

Tabla 35  
Producción de metano entérico en alpacas del grupo B, alimentado con tamaño de partícula 24 mm  $\phi$

N° Arete	Peso vivo, Kg		MSI Kg/d	Concentración de CH4 en la cámara, min 20				Producción de CH4										
	$\bar{X}$ , General	$W_{kg}^{0.75}$		T °C	ppm	mg/m3	Vol. Cám.	Vol. Anim.	mg/Cám	g/d	CO <sub>2,eq</sub> g/W <sub>kg</sub> <sup>0.75</sup>	mol/d	g/Kg MSI	Kcal/d	L/d	L/Kg MSI	LW <sub>kg</sub> <sup>0.75</sup>	
1A	52.60	19.53	1.017	8.30	26.47	18.39	9.80	0.07	178.85	12.88	321.92	0.66	0.80	12.66	170.97	31.31	30.79	1.60
2A	60.90	21.79	1.370	9.30	36.05	24.95	9.80	0.07	242.62	17.47	436.72	0.80	1.09	12.75	231.94	42.62	31.11	1.96
3A	54.40	20.02	1.236	10.50	36.10	24.88	9.80	0.06	242.19	17.44	435.94	0.87	1.09	14.11	231.52	42.73	34.58	2.13
4A	53.37	19.74	1.258	10.00	22.99	15.87	9.80	0.06	154.52	11.13	278.13	0.56	0.69	8.84	147.71	27.21	21.63	1.38
5A	51.33	19.17	1.125	10.70	21.63	14.90	9.80	0.06	145.07	10.44	261.12	0.54	0.65	9.28	138.68	25.61	22.76	1.34
Promedio	54.52	20.05	1.201	9.76	28.65	19.80	9.80	0.06	192.65	13.87	346.77	0.69	0.86	11.53	184.16	33.89	28.17	1.68
Desv. Est.	3.74	1.02	0.135	0.98	7.01	4.84	0.00	0.01	47.06	3.39	84.72	0.14	0.21	2.33	44.99	8.28	5.67	0.35
CV, %	6.86	5.09	11.225	10.03	24.46	24.46	0.00	9.08	24.43	24.43	24.43	20.96	24.43	20.21	24.43	24.42	20.13	20.98
Max.	60.90	21.79	1.370	10.70	36.10	24.95	9.80	0.07	242.62	17.47	436.72	0.87	1.09	14.11	231.94	42.73	34.58	2.13
Mín.	51.33	19.17	1.017	8.30	21.63	14.90	9.80	0.06	145.07	10.44	261.12	0.54	0.65	8.84	138.68	25.61	21.63	1.34

**Anexo 6.** Producción de metano en llamas y alpacas, alimentadas al pastoreo

Tabla 36

*Producción de metano entérico en llamas del grupo C, alimentado en condiciones de pastoreo.*

Llamas Grupo C		Concentración de CH4 en cámara, minuto 20					Producción de CH4														
N°	Arete	Peso vivo, Kg	MSI Kg/d	T °C	ppm	mg/m3	Vol. Cám.	Vol. Aním.	mg/Cám	g/d	CO <sub>2</sub> eq/W <sub>Kg</sub> <sup>0.75</sup> mol/d	g/Kg MSI	Kcal/d	L/d	L/Kg MSI	L/W <sub>Kg</sub> <sup>0.75</sup>					
1C	16LL096F	96.8	101.2	99.0	31.39	1.771	5.20	26.91	18.901	9.795	0.11	183.05	13.18	329.49	0.42	0.82	7.4	174.99	31.69	17.89	1.01
2C	16LL054E	85.4	100.2	92.8	29.90	1.687	6.20	21.40	14.977	9.795	0.10	145.17	10.45	261.30	0.35	0.65	6.2	138.77	25.22	14.95	0.84
3C	16LL130F	97.4	107.2	102.3	32.17	1.815	9.80	24.16	16.694	9.795	0.11	161.69	11.64	291.05	0.36	0.73	6.4	154.57	28.45	15.68	0.88
4C	16LL028F	84.8	86.4	85.6	28.14	1.588	11.30	19.65	13.506	9.795	0.08	131.20	9.45	236.16	0.34	0.59	5.9	125.42	23.21	14.62	0.82
5C	16LL110F	86.9	90.2	88.6	28.87	1.629	12.00	17.61	12.074	9.795	0.09	117.22	8.44	211.00	0.29	0.53	5.2	112.06	20.79	12.76	0.72
Promedio		90.26	97.04	93.65	30.09	1.698	8.90	21.95	15.230	9.795	0.10	147.67	10.63	265.80	0.35	0.66	6.24	141.16	25.87	15.18	0.86
Desv. Est.		6.29	8.52	6.98	1.68	0.095	3.05	3.67	2.675	0.000	0.01	25.75	1.85	46.36	0.05	0.12	0.82	24.62	4.30	1.86	0.10
CV, %		6.97	8.78	7.46	5.59	5.590	34.25	16.73	17.562	0.000	13.83	17.44	17.44	17.44	13.13	17.44	13.13	17.44	16.61	12.25	12.25
Max.		97.40	107.20	102.3	32.17	1.815	12.00	26.91	18.90	9.80	0.11	183.05	13.18	329.49	0.42	0.82	7.44	174.99	31.69	17.89	1.01
Mín.		84.80	86.40	85.600	28.14	1.588	5.20	17.61	12.07	9.80	0.08	117.22	8.44	211.00	0.29	0.53	5.18	112.06	20.79	12.76	0.72

Tabla 37

*Producción de metano entérico en alpacas del grupo C, alimentado en condiciones de pastoreo.*

Alpacas Grupo C		Concentración de CH4 en cámara, minuto 20					Producción de CH4														
N°	Arete	Peso vivo, Kg	MSI Kg/d	T °C	ppm	mg/m3	Vol. Cám.	Vol. Aním.	mg/Cám	g/d	CO <sub>2</sub> eq/W <sub>Kg</sub> <sup>0.75</sup> mol/d	g/Kg MSI	Kcal/d	L/d	L/Kg MSI	L/W <sub>Kg</sub> <sup>0.75</sup>					
1C	16H786M	53.3	58.2	55.8	20.40	1.107	5.30	21.01	14.752	9.795	0.07	143.46	10.33	258.24	0.51	0.64	9.3	137.15	24.85	22.44	1.22
2C	16H700F	52.8	59.4	56.1	20.50	1.161	6.00	17.88	12.523	9.795	0.07	121.81	8.77	219.26	0.43	0.55	7.6	116.45	21.15	18.22	1.03
3C	16H665F	45.4	52.0	48.7	18.44	1.051	8.50	14.99	10.405	9.795	0.06	101.30	7.29	182.33	0.40	0.45	6.9	96.83	17.74	16.89	0.96
4C	16H241F	38.8	48.6	43.7	17.00	0.999	8.80	16.27	11.282	9.795	0.05	109.93	7.91	197.87	0.47	0.49	7.9	105.09	19.28	19.30	1.13
5C	16H357E	47.4	54.6	51.0	19.08	1.090	10.30	20.25	13.967	9.795	0.07	135.87	9.78	244.56	0.51	0.61	9.0	129.88	23.95	21.98	1.26
Promedio		47.54	54.56	51.05	19.08	1.081	7.78	18.08	12.586	9.795	0.06	122.47	8.82	220.45	0.46	0.55	8.15	117.08	21.39	19.76	1.12
Desv. Est.		5.95	4.44	5.18	1.46	0.061	2.08	2.56	1.807	0.000	0.01	17.51	1.26	31.52	0.05	0.08	0.99	16.74	3.01	2.40	0.12
CV, %		12.53	8.13	10.14	7.65	5.631	26.68	14.14	14.356	0.000	12.02	14.30	14.30	14.30	10.89	14.30	12.19	14.30	14.09	12.12	10.99
Max.		53.30	59.40	56.1	20.50	1.161	10.30	21.01	14.75	9.80	0.07	143.46	10.33	258.24	0.51	0.64	9.33	137.15	24.85	22.44	1.26
Mín.		38.80	48.60	43.700	17.00	0.999	5.30	14.99	10.41	9.80	0.05	101.30	7.29	182.33	0.40	0.45	6.94	96.83	17.74	16.89	0.96

**Anexo 7. Resumen comparativo de producción de metano en llamas y alpacas, con dos dietas experimentales y al pastoreo**

Tabla 38

*Resumen para producción de metano en llamas de los grupos A, B, C.*

Variables	Llamas del Grupo A (12 mm ø)					Llamas del Grupo B (24 mm ø)					Llamas del Grupo C (Pastoreo)					General			
	1A	2A	3A	4A	5A	1B	2B	3B	4B	5B	1C	2C	3C	4C	5C		General		
PV, Kg	101.20	93.67	124.07	118.60	105.20	108.55	118.47	106.77	121.57	119.17	122.17	117.63	99.00	92.80	102.30	85.60	93.65	106.61	
W <sub>Kc</sub> <sup>0.75</sup>	31.90	30.11	37.17	35.93	32.83	33.59	35.89	33.20	36.60	36.05	36.73	35.69	31.39	29.90	32.17	28.14	30.09	33.12	
IMS, Kg/d	2.106	1.702	2.339	2.356	2.698	2.240	2.665	2.336	2.882	2.816	2.676	2.675	1.771	1.687	1.815	1.588	1.629	2.204	
ppm/20min	44.42	41.73	52.98	61.04	53.98	50.83	54.82	50.81	45.66	65.62	59.34	55.25	26.91	21.40	24.16	19.65	17.61	21.95	42.68
mg/Cám.	300.33	282.41	357.00	409.48	359.50	341.74	369.66	346.84	306.80	436.03	392.42	370.35	183.05	145.17	161.69	131.20	117.22	147.67	286.59
g/d	21.62	20.33	25.70	29.48	25.88	24.61	26.62	24.97	22.09	31.39	28.25	26.67	13.18	10.45	11.64	9.45	8.44	10.63	20.63
CO <sub>2</sub> eq	540.59	508.33	642.60	737.07	647.09	615.14	665.38	624.31	552.23	784.86	706.36	666.63	329.49	261.30	291.05	236.16	211.00	265.80	515.85
g/W <sub>Kc</sub> <sup>0.75</sup>	0.68	0.68	0.69	0.82	0.79	0.73	0.74	0.75	0.60	0.87	0.77	0.75	0.42	0.35	0.36	0.34	0.29	0.35	0.61
mol/d	1.35	1.27	1.60	1.84	1.61	1.53	1.66	1.56	1.38	1.96	1.76	1.66	0.82	0.65	0.73	0.59	0.53	0.66	1.29
g/Kg MSI	10.27	11.95	10.99	12.52	9.59	11.06	9.99	10.69	7.66	11.15	10.56	10.01	7.44	6.20	6.41	5.95	5.18	6.24	9.10
Kcal/d	287.10	269.97	341.28	391.45	343.66	326.69	353.38	331.57	293.28	416.83	375.14	354.04	174.99	138.77	154.57	125.42	112.06	141.16	273.97
L/d	52.27	49.17	62.16	71.81	63.35	59.75	64.41	59.79	53.70	77.19	69.64	64.95	31.69	25.22	28.45	23.21	20.79	25.87	50.19
L/W <sub>Kc</sub> <sup>0.75</sup>	1.64	1.63	1.67	2.00	1.93	1.77	1.79	1.80	1.47	2.14	1.90	1.82	1.01	0.84	0.88	0.82	0.72	0.86	1.48

Tabla 39

*Resumen para producción de metano en alpacas de los grupos A, B, C.*

Variables	Alpacas del Grupo A (12 mm ø)					Alpacas del Grupo B (24 mm ø)					Alpacas del Grupo C (Pastoreo)					General			
	1A	2A	3A	4A	5A	1B	2B	3B	4B	5B	1C	2C	3C	4C	5C		General		
PV, Kg	55.80	50.93	54.70	50.57	53.97	53.19	52.60	60.90	54.40	53.37	51.33	54.52	55.75	56.10	48.70	43.70	51.00	52.92	
W <sub>Kc</sub> <sup>0.75</sup>	20.41	19.06	20.11	18.96	19.91	19.69	19.53	21.79	20.02	19.74	19.17	20.05	20.40	20.50	18.44	17.00	19.08	19.61	
IMS, Kg/d	1.151	1.121	1.206	1.084	1.242	1.161	1.017	1.370	1.236	1.258	1.125	1.201	1.107	1.161	1.051	0.999	1.090	1.15	
ppm/20min	29.00	24.60	19.77	21.28	23.90	23.71	26.47	36.05	36.10	22.99	21.63	28.65	21.01	17.88	14.99	16.27	20.25	18.08	23.48
mg/Cám.	198.74	167.16	133.35	142.52	159.17	160.19	178.85	242.62	242.19	154.52	145.07	192.65	143.46	121.81	101.30	109.93	135.87	122.47	158.44
g/d	14.31	12.04	9.60	10.26	11.46	11.53	12.88	17.47	17.44	11.13	10.44	13.87	10.33	8.77	7.29	7.91	9.78	8.82	11.41
CO <sub>2</sub> eq	357.73	300.89	240.04	256.54	286.51	288.34	321.92	436.72	435.94	278.13	261.12	346.77	258.24	219.26	182.33	197.87	244.56	220.45	285.19
g/W <sub>Kc</sub> <sup>0.75</sup>	0.70	0.63	0.48	0.54	0.58	0.59	0.66	0.80	0.87	0.56	0.54	0.69	0.51	0.43	0.40	0.47	0.51	0.46	0.58
mol/d	0.89	0.75	0.60	0.64	0.71	0.72	0.80	1.09	1.09	0.69	0.65	0.86	0.64	0.55	0.45	0.49	0.61	0.55	0.71
g/Kg MSI	12.44	10.74	7.96	9.47	9.22	9.97	12.66	12.75	14.11	8.84	9.28	11.53	9.33	7.55	6.94	7.92	8.98	8.15	9.88
Kcal/d	189.99	159.80	127.48	136.24	152.16	153.13	170.97	231.94	231.52	147.71	138.68	184.16	137.15	116.45	96.83	105.09	129.88	117.08	151.46
L/d	34.29	29.13	23.38	25.19	28.30	28.06	31.31	42.62	42.73	27.21	25.61	33.89	24.85	21.15	17.74	19.28	23.95	21.39	27.78
L/W <sub>Kc</sub> <sup>0.75</sup>	1.68	1.53	1.16	1.33	1.42	1.42	1.60	1.96	2.13	1.38	1.34	1.68	1.22	1.03	0.96	1.13	1.26	1.12	1.41

**Anexo 8.** Determinación del volumen corporal de llamas y alpacas

Tabla 40

*Volumen corporal de las llamas de los grupos A, B, C.*

N°	Llamas Arete	Peso promedio	LC	PT	Radio	Volumen corporal	
		Kg	cm	cm	cm	cm <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
1A	16LL033E	101.20	104.0	119.0	18.94	117197.2	0.117
2A	S/A	93.67	103.0	113.0	17.98	104660.8	0.105
3A	S/A	124.07	114.0	127.0	20.21	146319.6	0.146
4A	16LL023F	118.60	114.0	124.0	19.74	139488.5	0.139
5A	16LL024E	105.20	110.0	119.0	18.94	123958.6	0.124
1B	16LL053E	118.47	112.0	122.0	19.42	132656.3	0.133
2B	16LL013E	106.77	105.0	119.0	18.94	118324.1	0.118
3B	16LL047E	121.57	105.0	121.0	19.26	122334.8	0.122
4B	16LL032E	119.17	107.0	119.0	18.94	120577.9	0.121
5B	16LL009E	122.17	108.0	129.0	20.53	143018.9	0.143
1C	16LL096F	99.00	105.0	115.0	18.30	110503.3	0.111
2C	16LL054E	92.80	101.0	113.0	17.98	102628.6	0.103
3C	16LL130F	102.30	102.0	116.0	18.46	109221.0	0.109
4C	16LL028F	85.60	92.0	105.0	16.71	80715.4	0.081
5C	16LL110F	88.55	95.0	107.0	17.03	86552.8	0.087

Tabla 41

*Volumen corporal de las alpacas de los grupos A, B, C.*

N°	Alpacas Arete	Peso promedio	LC	PT	Radio	Volumen corporal	
		Kg	cm	cm	cm	cm <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
1A	16H784F	55.80	86.0	101.0	16.07	69812.2	0.070
2A	16H607F	50.93	81.0	95.0	15.12	58173.1	0.058
3A	16H102E	54.70	89.0	100.0	15.92	70823.9	0.071
4A	16H522F	50.57	83.0	99.0	15.76	64734.9	0.065
5A	16H512F	53.97	85.0	101.0	16.07	69000.4	0.069
1B	16H158E	52.60	86.0	100.0	15.92	68436.6	0.068
2B	16H648F	60.90	87.0	102.0	16.23	72029.4	0.072
3B	16H635F	54.40	79.0	99.0	15.76	61615.2	0.062
4B	16H160F	53.37	87.0	94.0	14.96	61173.7	0.061
5B	16H601F	51.33	84.0	93.0	14.80	57814.3	0.058
1C	16H786M	55.75	86.0	101.0	16.07	69812.2	0.070
2C	16H700F	56.10	85.0	100.0	15.92	67640.9	0.068
3C	16H665F	48.70	82.0	96.0	15.28	60137.7	0.060
4C	16H241F	43.70	78.0	91.0	14.48	51400.5	0.051
5C	16H357E	51.00	85.0	100.0	15.92	67640.9	0.068

**Anexo 9.** Análisis estadístico para, consumo de materia seca, ganancia de peso y producción de metano en llamas y alpacas

Tabla 42

ANVA para consumo de materia seca en Kg/día, según factor especie (Llamas y Alpacas) y dieta experimental (12 y 24 mm  $\phi$  del tamaño partícula)

F de V	GL	SC	CM	F <sub>c</sub>	F <sub>t, 0.05</sub>	P Valor	Sig.
Especie	1	8.154	8.154	161.394	4.494	0.000000001	**
Dieta	1	0.286	0.286	5.653	4.494	0.0302318	*
Interacción Especie/Dieta	1	0.190	0.190	3.763	4.494	0.0702234	n.s.
Error experimental	16	0.808	0.051				
Total	19	9.438					

Existe diferencia estadística para: consumo de materia seca por el factor especie y dieta experimental ( $p < 0.05$ ).

Tabla 43

ANVA para ganancia de peso en Kg/día en un periodo de alimentación de 90 días, según factor especie (Llamas y Alpacas) y dieta experimental (12 y 24 mm  $\phi$  del tamaño partícula)

F de V	GL	SC	CM	F <sub>c</sub>	F <sub>t, 0.05</sub>	P Valor	Sig.
Especie	1	0.086	0.086	60.804	4.494	0.000001	**
Dieta	1	0.007	0.007	4.998	4.494	0.039987	*
Interacción Especie/Dieta	1	0.005	0.005	3.714	4.494	0.071905	n.s.
Error experimental	16	0.023	0.001				
Total	19	0.122					

Existe diferencia estadística para; ganancia de peso por el factor especie y dieta experimental ( $p < 0.05$ ).

Tabla 44

ANVA para producción de metano en g/día, según factor especie (Llamas y Alpacas) y dieta experimental (12 y 24 mm  $\phi$  del tamaño partícula)

F de V	GL	SC	CM	F <sub>c</sub>	F <sub>t, 0.05</sub>	P Valor	Sig.
Especie	1	836.337	836.337	82.749	4.494	0.0000001	**
Dieta	1	24.165	24.165	2.391	4.494	0.142	n.s.
Interacción Especie/Dieta	1	0.096	0.096	0.010	4.494	0.923	n.s.
Error experimental	16	161.711	10.107				
Total	19	1022.309					

Existe diferencia estadística para: producción de metano por el factor especie ( $p < 0.05$ ) y no significativo para el factor dieta experimental.