



EVALUACIÓN DE **METANO** POR LA **ACTIVIDAD PECUARIA** EN LA SIERRA SUR DEL PERÚ



EVALUACIÓN DE METANO POR LA ACTIVIDAD PECUARIA EN LA SIERRA SUR DEL PERÚ

JUAN E. MOSCOSO MUÑOZ
Ph. D. Nutrición

DUNKER A. ÁLVAREZ MEDINA
Mag. Seguridad Alimentaria y Desarrollo Humano

ABRAHAM F. MACHACA MAMANI
Mag. Ciencia Animal

Juan Moscoso Muñoz, Dunker Álvarez Medina, Abraham Machaca Mamani

Evaluación de metano por la actividad pecuaria en la sierra sur del Perú / Centro de Estudios Regionales Andinos Bartolomé de Las Casas, UNSAAC. -- Cusco : CBC, 2022.

60 p. : ilus., tpls. -- (Temas de actualidad, 30)

PASTIZALES/GANADERÍA/EFFECTO INVERNADERO/CAMBIOS CLIMÁTICOS/
GANADO VACUNO/PRODUCCIÓN DE ANIMALES/ALIMENTACIÓN ANIMAL/
CAMÉLIDOS SUDAMERICANOS/COMUNIDADES CAMPESINAS
PERÚ-CUSCO-SUR

07.07.02 (OCDE-CBC Biblioteca)

EVALUACIÓN DE METANO POR LA ACTIVIDAD PECUARIA EN LA SIERRA SUR DEL PERÚ

Derechos reservados.

© Juan Elmer Moscoso Muñoz, Dunker Arturo Álvarez Medina y Abraham Filiberto Machaca Mamani.

© Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC).

Av. De la Cultura N° 733, Cusco, Perú.

Apartado Postal N° 921 – Cusco, Perú

Facultad de Ciencias Agrarias.

Escuela Profesional de Zootecnia.

Av. De la Cultura s/n, Granja Kayra, San Jerónimo, Cusco, Perú

© Centro de Estudios Regionales Andinos Bartolomé de Las Casas (CBC).

Pasaje Pampa de la Alianza 164. Cusco.

Telef.: (51 084) 245415.

Correo electrónico: cbc@apu.cbc.org.pe

Página web: www.cbc.org.pe

Este volumen corresponde a la serie Temas de Actualidad, N° 30.

Equipo de investigación:

Francisco E. Franco Febres

Liz B. Chino Velasquez

Alexia Aguilar Galindo

Vianca Lipa Ancco

Luis Jordan Misme

Miyanu Huarhuachi Sicha

Deysi Mamani Mamani

Nay Ruth Piccalaico Flores

Medalit Ttito Quiñones

Elizabeth Qquecaño Maxi

Wilbert A. Cruz Quispe

Marco Quispe Huaihua

Comité editorial:

Juan Víctor Béjar Saya

Juan E. Moscoso Muñoz

Liz B. Chino Velasquez

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2022-06849

ISBN: 978-612-4121-48-7

Coordinación: Anael Pilares Valdivia

Revisión de textos: Fernando Heredia

Diseño y diagramación: Nuria Urquiza

Primera edición

Cusco, octubre de 2022

**Prohibida la reproducción total o parcial de las características gráficas y textos de este documento, sin autorización escrita de los editores.*

CONTENIDO

Presentación	5
Introducción.....	7
1. Importancia de los pastizales altoandinos	11
Especies forrajeras en función a la deseabilidad	12
Comunidades vegetales y sitios de pastizal	14
Aporte nutricional	14
2. Fisiología digestiva	25
Particularidades de la fisiología digestiva y metabólica en camélidos sudamericanos	26
3. Cuantificación de las emisiones de metano	33
Emisiones de metano por la producción animal en altura	39
Estrategias de mitigación de las emisiones de metano	51
Consideraciones finales	53
Referencias	55

PRESENTACIÓN

La región andina alberga a gran parte de la ganadería peruana, ya que casi el 100 % de los camélidos sudamericanos (CSA) domésticos, el 95 % de los ovinos y más del 70 % de vacunos pastorean en ella y los pastizales altoandinos constituyen la principal fuente alimenticia. Además, estos pastizales varían en cantidad y calidad a lo largo del año y esta variación estacional nutricional afecta directamente el uso de nutrientes y la producción de metano entérico.

En las últimas décadas el estudio de la producción de metano entérico en rumiantes ha recibido atención por ser uno de los principales gases de efecto invernadero (GEI) y por consiguiente existen muchos trabajos enfocados en su mitigación.

En el caso de la ganadería altoandina y su emisión de metano, existen pocos trabajos realizados bajo dichas condiciones y probablemente la presente obra sea una de las pocas que traten específicamente estos temas. Un gran esfuerzo por parte de la Universidad San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC) y sus proyectos del canon hicieron posible realizar una serie de trabajos experimentales en el marco del proyecto “Evaluación de la emisión de metano por la actividad pecuaria en la sierra sur del Perú”.

Ello dio como fruto final la elaboración de un libro, donde se abordan los aspectos relacionados a los pastizales utilizados como fuente de alimentación para los vacunos, ovinos y camélidos; también se hace énfasis en los aspectos fisiológicos, digestivos y metabólicos relacionados con la utilización de los nutrientes entre especies rumiantes y, en especial en camélidos, y termina con los estudios realizados en mediciones de las emisiones de metano en condiciones de altura y la técnica del trazador de SF₆, siendo la UNSAAC el primer centro de investigación del país en emplear esta técnica y que ha servido como base para que otras universidades también comiencen a implementar esta técnica.

Finalmente debo felicitar al equipo de investigadores encabezados por el Ph. D. Moscoso y a la UNSAAC por la edición del presente libro, que será de mucha ayuda para profesionales, estudiantes y técnicos dedicados a las labores pecuarias.

Francisco E. Franco Febres
Mag. Producción Animal
UNMSM

INTRODUCCIÓN

El Perú, por sus características climáticas y geográficas, está considerado como un país de alto riesgo en relación a las consecuencias desfavorables del cambio climático; en este contexto las poblaciones de la zona sur del país, principalmente de las zonas altas, se encuentran más expuestas a sus efectos. Las estimaciones realizadas consideran que por efecto del cambio climático se reducirá la producción ganadera entre 3 % a 6 % dependiendo del tipo de sistema productivo, siendo mayor en sistemas pastoriles, lo que puede afectar su viabilidad y sostenibilidad (Gomez, 2009).

Este hecho se ve agravado por que la mayor parte de los sistemas de crianza se realizan bajo condiciones de pastoreo, con el uso de especies forrajeras nativas como base de la alimentación, las cuales presentan fuertes limitaciones desde el punto de vista nutricional y productivo (condicionadas por factores de orden climático). Esto incide directamente sobre la productividad de los animales, puesto que conlleva al ineficiente uso de los limitados recursos forrajeros por los animales, que se traduce en mayores ineficiencias digestivas y mayores pérdidas energéticas en el proceso de fermentación *ruminal* generando además una mayor emisión de gases de efecto invernadero, principalmente de metano y CO₂.

Adicionalmente, en la mayor parte de los sistemas de pastoreo no se cuenta con una adecuada planificación en el uso del recurso forrajero, lo que conlleva a la pérdida de la condición de pastizal, reduciendo progresivamente la capacidad de carga animal, pero no la población de los mismos, generando un sobrepastoreo que agrava aún más el problema; esto no es tomado con seriedad por los productores, debido a que los conocimientos sobre las consecuencias ambientales del tipo de manejo que realizan no son claramente conocidas.

Las estimaciones realizadas sobre las emisiones de metano se han basado en el uso de parámetros zootécnicos y matemáticos, sin tomar en consideración las características diferenciales de la producción animal en la sierra sur del país y tampoco los aspectos fisiológicos particulares en los camélidos andinos y el potencial que estos tienen, ya que constituyen un sector importante de la población animal del país ubicado sobre todo en la sierra sur.

Estos hechos hacen que no se cuente con información real de los niveles de emisión de metano (línea base) y la manera como ésta se ve influenciada por los sistemas de crianza actuales, limitando la sistematización de información necesaria para poder establecer medidas de mitigación en el presente y futuro. De otro lado, en el país



no se cuenta con un centro que canalice esta información para que pueda ser utilizada por centros académicos de investigación así como de instituciones del Estado y otras, de modo que facilite la toma de acciones tendientes a reducir este efecto a nivel regional y nacional.

El presente libro muestra las características que presentan los pastizales altoandinos, y hace un análisis de las variaciones fisiológicas digestivas entre rumiantes y camélidos andinos. Asimismo, se establece los efectos de la ganadería de pastoreo y el cambio climático, poniéndose énfasis en las metodologías para la determinación de las emisiones de metano y los resultados de evaluaciones realizadas en la Escuela Profesional de Zootecnia de la UNSAAC.

Esperando que esta información sirva como documento de consulta para aquellas personas que, como nosotros, están interesadas en buscar estrategias de mitigación de los efectos que genera la ganadería en el medio ambiente.

Juan E. Moscoso Muñoz

1

IMPORTANCIA DE LOS PASTIZALES ALTOANDINOS

La región andina del Perú está conformada por la cordillera de los Andes, que corre de sur a norte y está ubicada entre la costa y la selva. Se estima que en el país la superficie ocupada con pastos naturales altoandinos es de 20 887 000 ha, los cuales soportan el 84 % de la ganadería nacional. Más del 50 % de los pastizales se encuentran en condición pobre y muy pobre, como consecuencia del sobrepastoreo y de las deficientes prácticas de manejo que se emplean.

En el Perú, los pastizales altoandinos constituyen la principal fuente de recursos forrajeros para la población ganadera; los pastizales se encuentran mayormente en las comunidades campesinas y en menor cantidad en pequeños fundos privados, constituyendo la principal fuente de recursos forrajeros para la población ganadera del país, ya que el 100 % de la población de alpacas y vicuñas (Flores y Malpartida, 1987), el 98 % de ovinos, 86 % de equinos y 80 % de vacunos pastorean en ellas (Flórez, 2005). Según información del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), el 100 % de alpacas y vicuñas; 94% de ovinos, y 73 % de vacunos pastorean en ellas (INEI, 2013).

Las formaciones ecológicas se caracterizan por presentar un conjunto de temperaturas promedio que oscilan entre los 3 °C y 9 °C

y están mayormente localizadas entre los 3500 m s. n. m. y 4800 m s. n. m.; la precipitación media anual varía entre los 250 mm y 1000 mm, distribuidos estacionalmente. Dentro de estas zonas de vida natural, el suelo, el clima y la topografía han interactuado para dar lugar, en el caso peruano a diversos tipos de composición vegetal que difieren en su fisonomía. Considerando estas zonas de vida se tienen diferentes tipos de pastizal tales como pajonales, césped de puna, bofedales, totorales, canllares, tolares, etc. (Flores, 1991).

ESPECIES FORRAJERAS EN FUNCIÓN A LA DESEABILIDAD

La deseabilidad es un factor predominante para establecer la especie animal que consume determinada planta forrajera. Diferentes especies animales muestran distinta deseabilidad y cada ecosistema altoandino tiene sus propias características y variaciones. En Cusco, el Centro Experimental La Raya constituye un referente de los tipos de pastizales existentes, cuyas características son las siguientes:

Alpacas: Del total de especies identificadas, el 45 % son deseables, de las cuales el 36,67 % son perennes deseables, el 8,33 % son anuales deseables y las restantes son poco deseables e indeseables.

Llamas: Del total de especies identificadas, el 41,67 % son deseables, de las cuales el 36,67 % son perennes deseables, el 5 % son anuales deseables y las restantes son poco deseables e indeseables.

Vacunos: Del total de especies identificadas, el 28,33 % son deseables, de las cuales el 25 % son perennes deseables, y el 3,33 % son anuales deseables y las restantes son poco deseables e indeseables. A diferencia de alpacas y llamas, la proporción de especies indeseables se incrementa para vacunos, y si se considera las especies poco deseables ambas representan el 71,67 % lo que

implicaría en cierto modo que las áreas de aptitud para vacunos son limitadas.

Ovinos: También se observa el mismo patrón descrito antes para vacunos, donde solo el 31,67 % son deseables, el 25 % son perennes deseables, y el 8,33 % son anuales deseables.

Vicuñas: Para esta especie animal se observa que el 38,33 % son deseables, de las cuales el 28,33 % son perennes deseables, el 10 % son anuales deseables y las restantes son poco deseables e indeseables.

En términos generales la mayor parte de especies son deseables para alpacas, llamas y vicuñas, y con menor aptitud para ovinos y vacunos por ser más exigentes en su dieta (Tabla 1).

Tabla 1. Especies vegetales en función a la deseabilidad				
ESPECIE ANIMAL	DESEABILIDAD	%	ESTACIONALIDAD (%)	
			PERENNES	ANUALES
Alpacas	D	45,00	36,67	8,33
	PD	26,67	21,67	3,33
	I	28,33	21,66	8,34
Llamas	D	41,67	36,67	5,00
	PD	35,00	23,33	11,67
	I	23,33	20,00	3,33
Vacunos	D	28,33	25,00	3,33
	PD	36,67	30,00	6,67
	I	35,00	25,00	10,00
Ovinos	D	31,67	25,00	8,33
	PD	35,00	28,33	5,00
	I	33,33	26,67	6,67
Vicuñas	D	38,33	28,33	10,00
	PD	26,67	25,00	1,67
	I	35,00	26,67	8,33

I: indeseable; D: deseable; PD: poco deseable.

COMUNIDADES VEGETALES Y SITIOS DE PASTIZAL

En el Centro Experimental La Raya se identificaron 10 comunidades vegetales distribuidas en 30 sitios de pastizal. Predomina la comunidad vegetal de *Calamagrostis amoena* con 1530,14 ha que representa el 34,86 % y que agrupa a 8 sitios de pastizal; seguido de la comunidad vegetal de *Festuca rigida* con 853,57 ha (19,45 %), y que tienen 3 sitios de pastizal. La comunidad vegetal de *Festuca dolichophylla* con 559,55 ha, representa el 12,75 % del total de los sitios del pastizal.

Estas tres primeras comunidades vegetales representan el 67,05 % de los sitios pastizales del Centro Experimental La Raya, estando en menor proporción otras comunidades vegetales, tales como: la comunidad vegetal de *Carex ecuadórica* con 299,9 ha, y que representa el 6,83 % y que agrupa a 2 sitios de pastizal; la comunidad vegetal de *Alchemilla pinnata* con 286,9 ha (6,54 %) y que tiene 3 sitios de pastizal; la comunidad vegetal de *Novenia acaulis* con 285,4 ha (6,5 %) y tiene 2 sitios de pastizal; la comunidad vegetal de *Calamagrostis ovata* con 247,48 ha (5,64 %) y que tiene 2 sitios de pastizal; la comunidad vegetal de *Distichia muscoides* con 160,83 ha (3,66 %) y que tiene 2 sitios de pastizal; la comunidad vegetal de *Oxychloe andina* con 103,4 ha (2,36 %) y que tiene 1 sitio de pastizal; y en menor magnitud la comunidad vegetal de *Stipa* sp. con 61,55 ha (1,41 %) y representa a 2 sitios del área total de los pastizales estudiados (Tabla 2).

APORTE NUTRICIONAL

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

Tabla 2. Comunidades vegetales y sitios de pastizales en el CICAS La Raya

PASTIZAL	COMUNIDAD VEGETAL	NOMBRE POTRERO	Área (ha)	%
<i>Calamagrostis amoena</i>	Caam - Hita	Hatún rumiyoc	215,30	4,91
	Caam - Caec	Huchuy Vizcachani e Inkaujana	172,18	3,92
	Caam - Stsp	Huanotiana	62,92	1,43
	Caam - Alpi	Mulalazuna y Larancota	125,50	2,86
	Caam - Mupe	Quisipata - Micuyo	443,70	10,1
	Caam - Leme	Chucutani	67,64	1,54
	Caam - Feri	Huarocconi y Ccoyllurhurmana	157,30	3,58
	Caam - Fedo	Huariphiña y Qq'uelloqaqa	285,60	6,51
<i>Festuca rigida</i>	Feri - Mupe	Tambo alta y Yuraqkancha	258,70	5,9
	Feri - St sp	Piscinakuchu y Mataballo	445,10	10,1
	Feri - Alpi	Rumitiana - Toltoqani	149,77	3,41
<i>Festuca dolichophylla</i>	Fedo - Alpi	Yanamayo y Chuspipujio	240,40	5,48
	Fedo - Feri	Tambo baja y Cconchopata	109,00	2,48
	Fedo - Cavi	Vilcanota-Qquelloqaqa baja y hatún rumiyoc baja	84,33	1,92
	Fedo - Hita	Cerrokunka-Minapata	50,03	1,14
	Fedo - Noac	Huaynacotana y Zorapata	75,79	1,73
<i>Carex ecuadorica</i>	Caec - Alpi	Yanacocha	142,30	3,24
	Ceac - Feri	Rayapata, Hatún-huchuy Colca, Ch'aqo y Checanota	157,60	3,59
<i>Calamagrostis ovata</i>	Caov - Caam	Hatún Vizcachani	111,28	2,54
	Caov - Alpi	Sallarani y Chullupata	136,20	3,1
<i>Novenia acaulis</i>	Noac - Stsp	Pulpera baja	111,28	2,54
	Noac - Alpi	Chullunquiani	136,20	3,1
<i>Alchemilla pinnata</i>	Alpi - Tre	Caserío	22,14	0,5
	Alpi - Cavi	Huchuy Kuchu y ch'aqo	186,80	4,26
	Alpi - Stsp	Cochakunka	77,96	1,78
<i>Distichia muscoides</i>	Dimu - Noac	Pulpera alta	35,73	0,81
	Dimu - Fedo	Ccanjahua	125,10	2,85
<i>Oxychloe andina</i>	Oxan - Noac	Nasaccara y Chinchina	103,40	2,36
<i>Stipa sp.</i>	Stsp - Mufa	Vicuñakancha - Plantakuchu	20,85	0,48
	Stsp - Poan	Puente pata	40,70	0,93

seca) (San Martín y Van Saun, 2014). Esta variación estacional en valor nutricional afecta la fisiología digestiva de los animales, generando diferentes niveles de eficiencia en el uso de nutrientes y la producción de metano (CH₄) (Van Soest, 1994).

El aporte nutricional de estos pastizales es variable a lo largo del año. Huisa *et al.* (1985) en praderas nativas en la época seca encontró que el contenido de proteína cruda varía entre 5,7 % a 10,8 %; siendo mayor durante los meses de mayo y noviembre (10,8 % y 10,81 % respectivamente); con relación a la digestibilidad no existe mucha diferencia entre un mes seco que es mayo (66,19 %) y un mes húmedo como es noviembre (67,40 %).

Por su parte, Moscoso-Muñoz, *et al.* (2016) realizaron la valoración nutricional de los pastizales en el Centro Experimental La Raya, Cusco, estableciendo variaciones en función al tipo de pastizal y época del año. Así se tiene:

Época seca

El contenido de energía en promedio es de 4089,01 kcal EB/kg MS, para la materia orgánica es de 92,34 %, proteína cruda de 9,62 % y la materia seca de 89,40 %; el mayor contenido calórico se registró en *Calamagrostis amoena* (4301,45 kcal EB/kg), para la proteína fue mayor en el *Carex* sp. (21,19 %), y el mayor contenido de materia orgánica se registró en *Calamagrostis vicugnarum* (97,19 %). La mayor variabilidad registrada se dio en el contenido de proteína cruda, la que está determinada por las características fenológicas y de crecimiento que tienen las especies evaluadas (Tabla 3).

Época de lluvia

El contenido de energía en promedio es de 3982,47 kcal EB/kg, para la materia orgánica es de 93,55 %, proteína cruda de 8,44% y la materia seca de 55,73 %; el mayor contenido calórico se registró en *Juncus bufonius* (4332,37 cal EB/g), para la proteína fue mayor en el *Lepechenia meyenii* (15,19 %), y el mayor contenido de materia orgánica se registró en *Stipa ichu* (joven) (97,21 %). La mayor variabilidad registrada se dio en el contenido de proteína cruda y materia seca, la que está determinada por

las características fenológicas y de crecimiento que tienen las especies evaluadas y por la variación en el contenido de humedad propio de la especie en la época de lluvia (Tabla 4).

Tabla 3. Valoración nutricional en época de seca/especie

ESPECIE	EB kcal/kg	% MO	% MS	% PC
<i>Alchemilla pinnata</i>	3818,20	90,21	88,52	11,38
<i>Calamagrostis amoena</i>	4301,45	95,81	92,96	5,13
<i>Calamagrostis antoniana</i>	3993,22	93,29	92,05	6,94
<i>Calamagrostis vicugnarum</i>	4173,77	97,19	92,31	5,16
<i>Calamagrostis vicugnarum</i> *	4165,72	96,20	92,41	3,06
<i>Carex</i> sp.	4099,97	89,63	90,74	21,19
<i>Distichia muscoides</i>	3864,87	93,03	91,49	7,94
<i>Festuca dolichophylla</i>	3969,59	93,24	92,89	4,77
<i>Festuca dolichophylla</i> *	3985,38	93,46	91,40	4,28
<i>Festuca rigida</i>	4140,96	72,47	92,88	5,44
<i>Festuca rigida</i> *	4061,03	92,91	92,56	4,88
<i>Graminoide</i>	4056,14	93,49	85,71	14,44
<i>Juncus bufonius</i>	4204,32	93,45	90,12	13,38
<i>Stipa</i> sp.	4240,82	95,03	90,09	11,69
<i>Stipa</i> sp./ <i>Eleocharis albibracteata</i>	4189,77	94,08	90,75	9,19
<i>Stipa obtusa</i>	4080,78	94,87	93,00	6,13
<i>Stipa obtusa</i> *	4221,80	97,40	92,83	-
<i>Werneria</i> sp.	-	89,24	50,78	9,69

* : Inflorescencia.

Tabla 4. Valoración nutricional en época de lluvia/especie

ESPECIE	EB kcal/kg	% MO	% MS	% PC
<i>Alchemilla pinnata</i>	3892,10	89,32	9,70	12,66
<i>Bidens andicola</i>	4113,63	90,91	-	12,13
<i>Calamagrostis amoena</i>	4042,86	93,52	75,81	5,35
<i>Calamagrostis amoena</i> *	4091,01	94,43	-	10,38
<i>Calamagrostis antoniana</i>	4099,73	95,04	13,22	5,38

Tabla 4. Valoración nutricional en época de lluvia/especie

ESPECIE	EB kcal/kg	% MO	% MS	% PC
<i>Calamagrostis vicugnarum</i>	3819,24	94,32	13,64	4,63
<i>Carex ecuatoriam</i>	4295,81	93,33	14,04	13,38
<i>Carex</i> sp.	4194,62	92,87	11,30	11,31
<i>Distichia muscoides</i>	4213,86	96,01	-	6,75
<i>Eleocharis albibracteata</i>	3917,35	87,39	9,54	12,81
<i>Festuca dolichophylla</i>	4115,42	95,92	67,71	5,42
<i>Festuca ortophylla</i>	4001,48	96,22	89,64	3,25
<i>Festuca rigenses</i>	4086,32	95,99	89,51	5,38
<i>Festuca rigida</i>	93,92	89,58	89,58	7,80
<i>Festuca rigida</i> *	93,92	94,63	-	9,38
Graminoide	4032,11	90,65	-	8,13
<i>Hipochaeris taraxacoides</i>	3833,98	85,79	-	10,69
<i>Jarava ichu</i>	4289,08	96,34	-	7,56
<i>Juncus bufonius</i>	4332,37	95,51	14,98	6,63
<i>Juncus donbellanus</i>	4283,81	95,28	-	9,94
<i>Lepechenia meyenii</i>	4221,86	90,19	-	15,19
<i>Lolium perenne</i>	4011,11	95,12	89,81	11,06
<i>Margiricarpus pinnatus</i>	4042,32	90,08	-	9,44
<i>Mulembergia fastigiata</i>	4105,12	92,61	89,79	9,81
<i>Polipogon</i> sp.	3922,80	89,68	-	11,25
<i>Stipa</i> sp.	4251,32	95,87	17,75	7,31
<i>Stipa brachiphylla</i>	4120,09	95,11	89,23	4,66
<i>Stipa ichu</i>	4215,68	95,97	88,29	11,81
<i>Stipa ichu (joven)</i>	4054,16	97,21	89,77	2,44
<i>Stipa ichu (vieja)</i>	4068,86	95,59	89,48	2,81
<i>Stipa mucronata</i>	4129,08	94,10	89,14	8,31
<i>Stipa obtusa</i>	4161,28	94,99	89,37	4,81
<i>Tototilla</i>	4080,72	96,71	89,91	10,19
<i>Werneria</i>	4058,94	93,92	8,11	8,69
<i>Alchemilla pinnata</i>	3892,10	89,32	9,70	12,66

* : Inflorescencia.

Los pastizales altoandinos están agrupados por asociaciones vegetales que guardan propiedades en común ya sea por tipo de suelo, altitud, tipo de exposición, etc. Estas características determinan cambios en la composición florística y por ende en su valoración nutricional, la misma que es analizada a continuación.

Época seca

El contenido de energía en promedio se mantiene constante en el pajonal y pasto cultivado, siendo mayor en el bofedal; sin embargo el contenido de proteína cruda es superior en los pastos cultivados, siendo significativamente inferior en el pajonal. En este caso la mayor variabilidad se registra en el bofedal frente a los otros pastizales, lo que estaría determinado por la alta diversidad de especies existentes en los bofedales.

En cuanto a la materia orgánica, esta es más constante en los tres tipos de pastizales, y presenta una baja variabilidad, demostrando una vez más que el contenido de materia seca y orgánica no se ve marcadamente influenciada por el tipo de especie vegetal (Tabla 5).

Tabla 5. Valoración nutricional época seca/ tipo de pradera (base seca)

SECTOR	ESPECIE	EB kcal/kg	% MO	% MS	% PC
Bofedal-Pulpera	<i>Alchemilla pinnata</i>	3818,20	90,21	88,52	11,38
Bofedal-Pulpera	<i>Calamagrostis amoena</i>	4301,45	95,81	92,96	5,13
Bofedal-Pulpera	<i>Calamagrostis antoniana</i>	3993,22	93,29	92,05	6,94
Bofedal-Pulpera	<i>Calamagrostis vicugnarum</i>	4252,79	94,72	92,52	8,63
Bofedal-Pulpera	<i>Carex</i> sp.	4099,97	89,63	90,74	11,19
Bofedal-Pulpera	<i>Distichia muscoides</i>	3864,87	93,03	91,49	7,94
Bofedal-Pulpera	<i>Festuca dolichophylla</i>	4150,52	95,02	93,32	3,19
Bofedal-Pulpera	<i>Graminoide</i>	4056,14	93,49	85,71	14,44
Bofedal-Pulpera	<i>Juncus bufonius</i>	4204,32	93,45	90,12	13,38
Bofedal-Pulpera	<i>Stipa</i> sp.	4240,82	95,03	90,09	11,69
Bofedal-Pulpera	<i>Stipa</i> sp./ <i>Eleocharis albibracteata</i>	4189,77	94,08	90,75	9,19
Bofedal-Pulpera	<i>Werneria</i>	-	89,24	50,78	9,69
Pasto cultivado	<i>Trebol</i>	4105,97	90,44	91,83	28,00

Tabla 5. Valoración nutricional época seca/ tipo de pradera (base seca)

SECTOR	ESPECIE	EB kcal/ kg	%MO	%MS	%PC
Pasto cultivado	<i>Rye grass</i>	4018,89	92,23	92,67	16,56
Pajonal	<i>Calamagrostis vicugnarum</i>	4147,43	98,01	92,24	4,00
Pajonal	<i>Festuca dolichophylla</i>	3876,80	92,73	92,56	5,31
Pajonal	<i>Festuca dolichophylla</i>	3881,44	91,96	92,78	5,81
Pajonal	<i>Stipa obtusa</i>	4080,78	94,87	93,00	6,13
Pajonal	<i>Festuca rigida</i>	4140,96	72,47	92,88	5,44
Pajonal	<i>Calamagrostis vicugnarum</i> *	4165,72	96,20	92,41	3,06
Pajonal	<i>Festuca dolichophylla</i> *	4006,71	-	-	3,75
Pajonal	<i>Festuca dolichophylla</i> *	3964,05	93,46	91,40	4,81
Pajonal	<i>Stipa obtusa</i> *	4221,80	97,40	92,83	2,50
Pajonal	<i>Festuca rigida</i> *	4061,03	92,91	92,56	4,88

* : Inflorescencia.

Época de lluvia

El contenido de energía en promedio se mantiene constante en los diferentes pastizales, siendo mayor en el pajonal; sin embargo el contenido de proteína cruda es superior en el chilliguar. En este caso la mayor variabilidad se registra en el chilliguar frente a los otros pastizales, lo que estaría determinado por la alta variabilidad de especies existentes en la época de lluvias donde la presencia de especies estacionarias es mayor (especies anuales).

En cuanto a la materia orgánica, esta es mayor en el chilliguar y presenta una baja variabilidad, demostrando una vez más que el contenido de materia seca y orgánica no se ve marcadamente influenciada por el tipo de especie vegetal y la época (Tabla 6).

Tabla 6. Valoración nutricional época de lluvia / tipo pradera (base seca)

SECTOR	EB kcal/kg	% MO	% MS	% PC
Huanacauri-Chillihuar	4008,83	-	89,79	-
Huanacauri-Chillihuar	4001,48	96,22	89,64	3,25
Huanacauri-Chillihuar	3843,84	92,74	89,61	4,69
Huanacauri-Chillihuar	4056,67	96,36	89,23	3,81
Huanacauri-Chillihuar	4068,86	95,59	89,48	2,81
Huanacauri-Chillihuar	3771,79	96,44	89,17	4,31
Huanacauri-Chillihuar	4080,72	96,71	89,91	10,19
Huanacauri-Chillihuar	4054,16	97,21	89,77	2,44
Huanacauri-Chillihuar	4049,96	94,94	89,84	5,38
Huanacauri-Chillihuar	4274,21	-	-	-
Huanacauri-Chillihuar	4148,63	94,63	-	9,38
Huanacauri-Chillihuar	4091,01	94,43	-	10,38
Planta eléctrica-Pajonal	4192,22	96,31	89,17	6,56
Planta eléctrica-Pajonal	4086,32	95,99	89,51	5,38
Planta eléctrica-Pajonal	4058,99	93,91	89,33	6,00
Planta eléctrica-Pajonal	4215,68	95,97	88,29	11,81
Planta eléctrica-Pajonal	4129,08	94,10	89,14	8,31
Planta eléctrica-Pajonal	4161,28	94,99	89,37	4,81
Pulpera-Bofedal	3941,06	91,03	-	11,31
Pulpera-Bofedal	4178,26	95,14	62,00	4,19
Pulpera-Bofedal	4099,73	95,04	13,22	5,38
Pulpera-Bofedal	3819,24	94,32	13,64	4,63
Pulpera-Bofedal	4295,81	93,33	14,04	13,38
Pulpera-Bofedal	4194,62	92,87	11,30	11,31
Pulpera-Bofedal	4213,86	96,01	-	6,75
Pulpera-Bofedal	3757,21	84,82	9,54	9,88
Pulpera-Bofedal	4190,29	95,03	24,80	4,63
Pulpera-Bofedal	4032,11	90,65	6,90	8,13
Pulpera-Bofedal	4332,37	95,51	14,98	6,63
Pulpera-Bofedal	4251,32	95,87	17,75	7,31
Pulpera-Bofedal	4058,94	93,92	8,11	8,69

El contenido energético es ligeramente superior en la época de lluvias y muestra baja variabilidad en ambas épocas; sin embargo el contenido de materia seca muestra mayor variabilidad en la época seca frente a la época de lluvia, lo que estaría demostrando la presencia de rebrotes y plantas nuevas, sobre todo del tipo anual que se desarrollan en esta época.

Por otro lado, el contenido de proteína tiende a ser mayor en la época de lluvia frente a la época seca; en ambos casos la variabilidad es alta, producto de la diversidad de especies existentes, cuyos valores proteicos van desde niveles muy bajos (2,44 %) hasta niveles altos (21,19 %). En cuanto al contenido de materia orgánica el nivel es más alto en la época de lluvias; en ambos casos la variabilidad es baja, puesto que, como es sabido, el contenido mineral en los pastos es más constante que lo observado en los otros nutrientes (Tabla 7).

Tabla 7. Variación nutricional por época (lluvia y seca) (base seca)

Época	Variable	Promedio	Mínimo	Máximo
Lluvia	EB, kcal/kg	4101,79	3757,21	4103,11
	MS, %	59,14	6,90	89,16
	MO, %	93,59	84,82	94,53
	PC, %	8,10	2,44	7,44
Seca	EB, kcal/kg	4081,85	3818,20	4301,45
	MS, %	89,61	50,78	93,32
	MO, %	92,71	72,47	98,01
	PC, %	7,66	2,50	21,19

Como se aprecia en la tabla 8, la época del año influye sobre los valores nutricionales del bofedal dominado por la *Distichia muscoides* (kunkuna), siendo el contenido de proteína mayor en la época seca, no habiéndose observado mayor variación para los otros nutrientes y la energía; un hecho remarcable es que el contenido de materia seca es bajo en la época de lluvia y muestra alta variabilidad frente a lo observado en la época de seca.

Tabla 8. Variación nutricional del bofedal dimu (lluvia y seca, base seca)

Época	Variable	Promedio	Mínimo	Máximo
Lluvia	EB, kcal/kg	4104,99	3756,19	4332,37
	MS, %	17,84	6,90	62,00
	MO, %	93,35	84,82	96,01
	PC, %	7,86	4,19	13,38
Seca	EB, kcal/kg	4106,55	3818,20	4301,45
	MS, %	87,42	50,78	93,32
	MO, %	93,08	89,24	95,81
	PC, %	10,23	3,19	21,19

Los pajonales de *Calamagrostis amoena*, por lo general tienen mayor contenido de proteína cruda en la época de lluvia, siendo el nivel bajo en la época de seca; en ambos casos la variabilidad es alta, pero es destacable que en la época seca no se llega a superar el 6,13 % PC, lo que demuestra que este tipo de pastizal tiene limitaciones marcadas en cuanto a su aporte nutricional. En este pastizal la materia seca también es mayor en la época seca, pero la materia orgánica resulta siendo superior en la época de lluvia (Tabla 9).

Tabla 9. Variación nutricional del pajonal *Calamagrostis amoena* (base seca)

Época	Variable	Promedio	Mínimo	Máximo
Lluvia	EB, kcal/kg	4140,60	4058,99	4215,68
	MS, %	89,14	88,29	89,51
	MO, %	95,21	93,91	96,31
	PC, %	7,15	4,81	11,81
Seca	EB, kcal/kg	4054,67	3876,80	4221,80
	MS, %	92,52	91,40	93,00
	MO, %	92,22	72,47	98,01
	PC, %	4,57	2,50	6,13

Las asociaciones vegetales tienden a variar dentro de los sitios de pastizal, es así que para el de *Festuca dolichophylla* (chilliguar), el contenido de proteína cruda es mayor en el sector Vilcanota al igual que el contenido energético, pero la materia orgánica es superior en el sector de Huanacauri. En ambos casos la variabilidad es alta, lo que implica una gran diversidad de especies. Estas variaciones estarían determinadas por el tipo de manejo efectuado en ambos sitios, puesto que el sector Vilcanota presentaba una mayor y mejor uniformidad de especies con baja presencia de plantas senescentes, como lo observado en el sector Huanacauri (Tabla 10).

Estas características muestran la relación que existe entre la composición nutricional de los pastizales con la época del año, puesto que los pastos altoandinos presentan ciclos fenológicos que se activan con el inicio de las lluvias, permaneciendo en dormancia en la época seca, afectando con ello su contenido nutricional.

En la época seca el contenido de energía es de 4089,01 kcal EB/kg, MO es de 92,34 %, PC es de 9,62 % y MS de 89,40 %. En la época de lluvia el contenido de energía es de 3982,47 kcal EB/kg, MO es de 93,59 %, PC de 8,34 % y MS de 55,02 %; en estas condiciones el contenido energético es constante en las épocas de lluvia y seca; la mayor variación del contenido de humedad se presenta en la época de lluvia, y el contenido de proteína cruda y materia orgánica tienden a ser superiores en la misma época. Otra característica apreciable es que los bodefadales de kunkuna (Dimu) tienen mayor contenido de proteína cruda en la época seca, existiendo marcada variación de la materia seca entre épocas, siendo constante la materia orgánica, pero en el pastizal de Caam el mayor contenido de energía bruta y proteína cruda es en la época de lluvia.

Tabla 10. Variación nutricional del chilliguar por sitios (época de lluvia) (base seca)

Asociación	Sector	Variable	Promedio	Mínimo	Máximo
Chilliguar	Huanacauri	EB, kcal/kg	4037,51	3771,79	4274,21
		MO, %	95,53	92,74	97,21
		PC, %	5,66	2,44	10,38
	Vilcanota	EB, kcal/kg	4134,92	3833,98	4308,00
		MO, %	91,85	85,79	96,34
		PC, %	10,30	5,50	15,75

2

FISIOLOGÍA DIGESTIVA

El adecuado funcionamiento del tracto gastrointestinal (TGI) es esencial para la producción animal sostenible. La funcionalidad efectiva y su salud son factores importantes para determinar el rendimiento animal; varios mecanismos complejos están involucrados en este proceso, por lo que es crucial profundizar el conocimiento de estas interacciones para que se puedan desarrollar estrategias que permitan modular la funcionalidad y la salud del TGI, en aras de un mejor desempeño animal (Celi *et al.*, 2017).

El sistema digestivo es un órgano con una variedad de funciones y de gran complejidad y dinámica que incluyen la digestión, osmoregulación, y protección. La función clásica del sistema digestivo es la digestión del alimento en pequeñas moléculas mediante enzimas y fermentación microbiana, que luego puede ser absorbido en el cuerpo (Celi *et al.*, 2017). El sistema digestivo también tiene otro papel fisiológico importante que es el de barrera contra los antígenos y patógenos, ya que el TGI es la interfaz más grande entre el huésped y el medio ambiente. Finalmente, es considerado el más grande órgano del sistema inmunológico ya que más del 70 % de las células del sistema inmunológico pueden llamar hogar al TGI (Vighi *et al.*, 2008). Dado que los nutrientes ingeridos pueden desempeñar un papel importante

en el desarrollo y la funcionalidad del TGI, la composición de la dieta (ingredientes, nutrientes y aditivos) puede influir en el desarrollo y la función del sistema digestivo, incluido el sistema inmunológico y la microbiota (Conway, 1994).

En vertebrados e invertebrados, las características morfológicas y funcionales de los tractos gastrointestinales generalmente reflejan la química de los alimentos, como el contenido de carbohidratos, proteínas, grasas y materiales refractarios a la digestión rápida. La expresión de enzimas digestivas y transportadores de nutrientes coincide aproximadamente con la carga dietética de sus respectivos sustratos, con un exceso de capacidad relativamente modesto. Muchas especies responden a una mayor ingesta de alimentos, aumentando de manera flexible el tamaño del compartimento digestivo. Los procesos fermentativos por microorganismos simbióticos son importantes para la degradación de la celulosa, pero son relativamente lentos, por lo que los animales que dependen de esos procesos suelen poseer compartimentos agrandados especiales para mantener la microbiota y otras estructuras gastrointestinales que ralentizan el flujo de la digesta (Karasov y Douglas, 2013).

PARTICULARIDADES DE LA FISIOLOGÍA DIGESTIVA Y METABÓLICA EN CAMÉLIDOS SUDAMERICANOS

Los camélidos no son rumiantes desde el punto de vista taxonómico, fisiológico o conductual; los camélidos y los rumiantes difieren en la susceptibilidad a las enfermedades infecciosas y parasitarias. Los científicos paleontológicos y taxonómicos modernos afirman claramente que los camélidos pertenecen al suborden Tylopoda (latín, "pie acolchado") del orden Artiodactyla, que es distinto del suborden Ruminantia (Fowler y Bravo, 2013).

Los camélidos son herbívoros rumiantes con un intestino anterior expandido y una fermentación microbiana sustancial como otros animales rumiantes y con similares productos finales de la fermentación. A pesar de las similitudes con los rumiantes, el tracto digestivo de los camélidos difiere anatómicamente del de los rumiantes verdaderos debido a que tienen una separación menos completa de los segmentos individuales del intestino anterior expandido y también hay diferencias funcionales (San Martín y Bryant, 1989; Rubsamen y Von Engelhardt, 1979); adicionalmente tienen una mayor tasa de pasaje de la fase líquida, pero una menor tasa de pasaje del material sólido y un menor gasto de energía que los rumiantes.

Metabolitos

Diversos estudios muestran que las llamas presentan tasas metabólicas más bajas en comparación con los verdaderos rumiantes, lo que debe mejorar las posibilidades de supervivencia con dietas bajas en proteínas. Kiani y Nielsen (2015) mostraron que las llamas, comparadas con ovejas y cabras, tenían concentraciones plasmáticas más altas de glucosa (7,1 vs. 3,5 y 3,6 0,18 mmol / L), creatinina (209 vs. 110 y 103 10 mmol / L) y urea (6,7 vs. 5,6 y 4,9 0,5 mmol / L) pero menor leptina (0,33 vs. 1,49 y 1,05 0,1 ng / mL) y BOHB (0,05 vs. 0,26 y 0,12 0,02 mmol / L), respectivamente.

Los valores de BOHB en llamas son extremadamente bajos para un animal rumiante; adicionalmente, en las llamas la hiperglucemia coexiste con la hiperinsulinemia y son claramente hipercreatinémicas en comparación con los rumiantes verdaderos y tienen concentraciones de urea plasmática marcadamente más altas, pero más bajas de leptina que los verdaderos rumiantes. Estas características llevarían a inferir que los camélidos, principalmente las llamas, parecen tener un fenotipo intrínseco de resistencia a la insulina. El aumento de creatinina y el mantenimiento de concentraciones elevadas de urea en plasma en llamas cuando se alimentan con la dieta baja en proteína, deben reflejar distintas adaptaciones del metabolismo de proteínas intermedias y/o nitrógeno, no observadas en los verdaderos rumiantes (Kiani y Nielsen, 2015).

Los metabolitos sanguíneos varían a lo largo del año, lo que está relacionado con la calidad y disponibilidad del forraje. Los niveles séricos de proteína total por lo general se mantienen constantes a lo largo del año tanto en madres como en crías; considerando el tipo de llama se observa que en las ch'aku (madres y crías) se reporta niveles altos en marzo (6,48 mg/dl) para madres y para crías en febrero (6,12 mg/dl), pero no hubo variaciones entre razas y grupos etarios. Los niveles de glucosa en madres tienden a ser mayores en la época seca (100,24 mg/dl). Los niveles de ácidos grasos no esterificados, suben en la época lluviosa con 14,54 y 16,38 mg/dl para madres y crías respectivamente; similares valores se observa en los niveles de nitrógeno ureico en madres, siendo mayor en la época lluviosa (18,04 mg/dl), con énfasis en el mes de febrero (madres y crías). En cuanto a la creatinina los niveles son mayores en la época seca (1,81 mg/dl) frente a la lluviosa (1,57 mg/dl) (Moscoso-Muñoz, *et al.*, 2018).

Selectividad

La selectividad varía en función a la especie animal. Las llamas tiene preferencia por gramíneas altas y los ovinos por gramíneas bajas, mientras que las alpacas tienen una elevada selectividad, en ambas estaciones, por herbáceas; este hecho se ve reflejado en la similitud de la composición botánica de las dietas seleccionadas y el forraje disponible, puesto que las dietas de llamas tienen un mayor índice de semejanza, siendo intermedia en alpacas y menor en ovinos. El mayor índice en llama indica que esta especie es menos selectiva que la alpaca y el ovino (San Martín, 1994).

A medida que avanza la estación seca, la dieta de las alpacas en los bofedales se compone principalmente de juncos (78 %), mientras que las dietas del altiplano no llegan a variar marcadamente, siendo predominantemente pastos (68%). El consumo de herbáceas varió anualmente entre el 8 % y el 29 % de la dieta en ambos sitios. La proteína cruda (PC) en las dietas en bofedales (12,3 %) es en promedio superior que en el altiplano (10,2 %). Estos valores tienden a disminuir durante el mes de agosto en el altiplano (6,1 %) y en el bofedal en julio

(8,0 %). *In vitro* la digestibilidad de la materia orgánica de las dietas de alpaca en el bofedal (63 %) fue similar a la del sitio altiplano (64 %) (Reiner y Bryant, 1986).

Digestibilidad

La digestibilidad expresa la fracción del alimento consumido que no es aprovechado por los animales. Esta tiende a variar dependiendo de muchos factores, siendo el más importante el alimento (composición química y forma de presentación), que afecta directamente a la capacidad digestiva que tienen los animales; también es sabido que el tracto gastrointestinal se fue adaptando a las condiciones naturales de su alimentación, conllevando a diferencias en la respuesta entre especies animales frente a un determinado tipo de alimento. En el caso de los camélidos muchos estudios mostraron que la eficiencia microbial del preestómago y la digestibilidad de MS, MO y fibra detergente neutra (FDN) fue significativamente más alta en llamas que en ovinos, y la actividad celulolítica microbial en el primer compartimento (C1) del estómago de los camélidos sudamericanos fue más alta, que en rumiantes como la oveja (Cai-xia *et al.*, 2013).

Estas variaciones en la digestibilidad, sobre todo de ingestas pobres en proteína y altas en fibra, podrían estar relacionadas con el mayor tiempo de retención del alimento en el tracto digestivo, la elevada frecuencia de contracciones del estómago, los ciclos de rumia, la alta relación flujo salival y volumen estomacal y la presencia de sacos glandulares en el estómago (Yaranga, 2009). Esto determinaría que las alpacas logren valores de digestibilidad entre 75 % a 78 % frente a los ovinos cuya eficiencia digestiva es menor (50 % a 58 %), cuando consumen dietas con niveles de proteína inferiores al 7,5 %, puesto que a medida que la dieta mejora (> 10,5 % proteína cruda) estas diferencias se hacen menores y similares (San Martín, 1994). La mayor exposición a la fermentación microbiana en los camélidos ha sido postulado por generar una mayor emisión de metano por unidad de alimento ingerido en comparación a los rumiantes (Dittmann *et al.*, 2014).

Fisiología digestiva

Los rumiantes se caracterizan por su capacidad para alimentarse de pasto o forraje. Esta característica se basa en la posibilidad de poder degradar los hidratos de carbono estructurales del forraje, como celulosa, hemicelulosa y pectina, poco digestibles para las especies de estómago simple o no rumiantes. Basada en esta diferencia fundamental, la fisiología digestiva del rumiante adquiere características particulares. La degradación del alimento se realiza mayoritariamente por digestión fermentativa y no por acción de enzimas digestivas, y los procesos de fermentación los realizan diferentes tipos de microorganismos a los que el rumiante aloja en sus divertículos estomacales (Relling y Mattioli, 2002).

El tipo de sistema digestivo tiene una influencia significativa en la tasa de emisión de metano. Los rumiantes tienen una cámara expansiva, el rumen, en la parte delantera de su tracto digestivo, donde se produce una fermentación microbiana intensiva de su dieta, lo que les significa varias ventajas nutricionales, incluida la capacidad de digerir celulosa (IPCC, 2006).

Estómago

Existe todavía confusión en la terminología usada para describir el sistema gástrico de los camélidos sudamericanos, y continuamente se intenta igualar el estómago con el de los ovinos y vacunos (San Martín, 1994).

Estudios realizados en la estructura macroscópica de los preestómagos y del estómago de la llama y el guanaco homologable al de la vicuña y alpaca, utilizando técnicas *in vivo* e *in vitro*, describen una división de tres compartimentos. El primer compartimento (C1), frecuentemente confundido con el rumen, es el más voluminoso (83 % del volumen total, pregástrico y gástrico), ventralmente posee un prominente surco transversal que lo divide en un saco craneal y uno caudal; ambos poseen saculaciones que, aparte de proveer una mayor superficie de contacto, poseen mucosas glandulares

que permiten la secreción de *buffers* que contribuyen con la saliva en la mantención de un ambiente favorable para la acción de microorganismos celulolíticos; el resto del epitelio es escamoso estratificado no glandular, que al igual que en otros rumiantes tiene una función dedicada a la absorción (Raggi y Crossley, 1990).

En el segundo compartimento (C2) también se describen ambos tipos de epitelios y la mucosa superficial de las paredes de la curvatura mayor de este compartimento está dividida en forma reticular; en general el contenido de ese compartimento es líquido y tanto su forma como su función se homologan frecuentemente con el retículo de otros rumiantes. El C2 se comunica con el tercer compartimento (C3) a través de un pasaje estrecho cubierto por epitelio escamoso estratificado; sin embargo el C3 está completamente recubierto de mucosas glandulares, pero su disposición varía a lo largo del compartimento, que tiene forma tubular. El quinto inicial tiene su mucosa dispuesta en forma reticular en su curvatura menor, y en la curvatura mayor se distribuye en forma de pliegues no permanentes; aunque anatómicamente no posee una estructura similar al omaso de otros rumiantes, se compara este quinto con un omaso funcional. En los siguientes tres quintos medios, la mucosa se dispone en forma de pliegues longitudinales permanentes, mientras que en el quinto final la mucosa se engrosa sensiblemente correspondiendo este área a la mucosa propiamente dicha (San Martín y Van Saun, 2014).

Características de la fermentación en el Compartimento I

Existe poca diferencia en la población microbiana anaeróbica entre camélidos y rumiantes; se indica que las llamas tienen mayores poblaciones de bacterias acetogénicas y tienen un recuento bacteriano total menor que el de los rumiantes. Las similitudes entre los camélidos sudamericanos y los rumiantes con respecto al proceso de fermentación del estómago se pueden atribuir a las poblaciones de microorganismos presentes en la cámara de fermentación. Estos microorganismos determinan los patrones de fermentación y son

principalmente el resultado de la composición de la dieta y el tiempo de retención del estómago (San Martín y Van Saun, 2014).

Los patrones de fermentación en el estómago o rumen se ven influenciados por el tipo de dieta que consumen los animales. Se observa una disminución proporcional en la producción de acetato cuando se alimenta con alfalfa en comparación con gramíneas; esta reducción en la proporción de acetato a propionato resulta del aumento de la proporción molar de propionato y la disminución de la proporción molar de acetato (Liu, *et al.*, 2009).



Condiciones extremas en las cuales se desarrolla la crianza de alpacas.

3

CUANTIFICACIÓN DE LAS EMISIONES DE METANO

Diferentes métodos han sido desarrollados para medir o estimar las emisiones de metano en animales, cuya utilización depende del nivel de precisión y del tipo de información requerida (condiciones de pastoreo, estabulado o de laboratorio), sumándose a ello las condiciones tecnológicas e infraestructura disponibles. Los métodos para estimar las emisiones de metano del ganado que han sido utilizados se basan en datos más antiguos, que ahora han sido reemplazados por una gran cantidad de datos más recientes. Los datos recientes sugirieron que las estimaciones de emisiones del inventario actual se pueden mejorar (Charmley, *et al.*, 2016).

Fermentación *in vitro*

Kajikawa *et al.*, (2003) indican que las investigaciones en fermentación y digestión juegan un papel crucial en los estudios nutricionales y fisiológicos en rumiantes. Desde la década de los 50 muchos métodos han sido desarrollados para simular el ecosistema ruminal. Aunque los estudios *in vivo* han sido de gran importancia, las simulaciones *in vitro* del medio ambiente ruminal son frecuentemente efectivas

y eficientes por su rapidez y bajo costo de operación. Además, porque se pueden definir factores específicos, que en condiciones *in vivo*, pueden ocultarse por una gran complejidad de factores.

Tejido *et al.*, (2002) menciona que dentro de las técnicas más conocidas *in vitro* están la de Tilley y Terry implementada en 1963, y sus diversas modificaciones. Entre algunas desventajas de estos métodos se tienen el largo tiempo requerido para realizar un análisis, la gran cantidad de pasos y que la muestra no tiene flujo de recambio.

La prueba de producción de gases HGT (*Hohenheim gas test*, por sus siglas en inglés) fue diseñada por la Universidad de Hohenheim en Stuttgart, Alemania principalmente para estimar la digestibilidad de alimentos y estimar la energía metabolizable a través de la incubación *in vitro* y midiendo la producción de gases generada durante 24 horas (Menke *et al.*, 1979). Esta prueba se realiza bajo el siguiente procedimiento:

- a) Se pesa aproximadamente 200 mg de materia seca unas 24 horas antes de iniciar la prueba. Posteriormente se colocan en jeringas de cristal de 100 ml de volumen (36 mm de diámetro externo y 200 mm de longitud) con pistones a los cuales se les agrega vaselina. Las jeringas llevan un pequeño tubo de silicona en la punta con un clip plástico para cerrar la salida.
- b) Las jeringas se mantienen atemperadas a 39 °C mediante baño maría hasta el día siguiente de la incubación.
- c) La preparación del medio empieza aproximadamente a las 6:30 a.m., para luego trabajar con el licor ruminal, 30 minutos antes de recibirlo. El medio se debe mantener a 39 °C por baño con agua maría, con aplicación de un flujo constante de CO² y constante agitación magnética.
- d) El licor ruminal es previamente filtrado, para luego ser agregado al medio totalmente reducido en una relación de uno de licor por dos de solución.

- e) Se agregan 30 ml de la mezcla de licor ruminal con el medio en cada jeringa.
- f) Las jeringas se incuban a 39 °C, posteriormente las muestras se agitan a cada hora, durante 6 horas.

Para estandarizar la variación en la actividad del licor ruminal se realizan tres incubaciones en paralelo. Un blanco que contiene solo la mezcla de licor ruminal y del medio, y dos estándares mezclados con el licor ruminal y el medio. El primer estándar consiste en heno molido y el segundo es un concentrado. Estos estándares tienen una producción de gas conocida (49,16 y 61,13 ml/200mgMS respectivamente), la cual debe coincidir con no más de 5 % de variabilidad con lo observado en la incubación, de lo contrario se descarta todo el lote de muestras incubadas.

Calorimetría

Las técnicas calorimétricas de respiración tales como las cámaras de circuito cerrado, cámaras en la cabeza, o capuchas ventiladas y máscaras faciales, han sido usadas con efectividad para la determinación de las emisiones de metano. Estas emisiones son determinadas por la medición del flujo total de aire por el sistema y la diferencia en la concentración entre el aire inspirado y espirado. En las cámaras, la mayor ventaja radica en las mediciones de metano tanto proveniente de la fermentación ruminal como de la del tracto posterior. Las desventajas de esta técnica involucra los costos de construcción y de mantenimiento, la restricción de movimiento de los animales y la alta mano de obra (Johnson y Johnson, 1995).

Ecuaciones de predicción

Se ha intentado simular las emisiones de metano en base a una matemática descripción de la bioquímica de fermentación ruminal. Anteriormente, estos modelos mecanicistas se habían aplicado con éxito, sin embargo, no ofrecen soluciones rápidas basadas en información

dietética limitada. Los modelos estadísticos han proporcionado una mejor alternativa en circunstancias prácticas; uno de los problemas en la aplicación de los modelos es la información que requieren, por ejemplo conocer la celulosa y hemicelulosa de las dietas, las cuales no siempre están disponibles. Los modelos estadísticos también han sufrido la incapacidad de proporcionar predicciones fiables fuera del rango de ingesta utilizado en su formulación (Mills, *et al.*, 2010).

Ha habido varios intentos de formular modelos matemáticos para predecir las emisiones de metano del ganado (Wilkerson *et al.*, 1995), los cuales pueden usarse para identificar opciones de mitigación adecuadas. El balance fermentativo se ha usado para predecir la producción de metano por la conversión de carbohidratos de la dieta en ácidos grasos volátiles (AGV). Esta metodología asume que todo el exceso de H^2 es convertido en metano y no hay hidrógeno asociado con la síntesis de células microbiales y que de la fermentación de los sustratos no carbohidratados no se producen AGV.

Cuando las células microbiales son incluidas en la estequiometría de la fermentación, los estimativos de la producción de metano disminuyen (Van Kessel y Russell, 1996). Las ecuaciones de predicción de emisión de metano en el ecosistema ruminal requieren información de consumo de materia seca, composición química de la dieta (incluyendo solubilidad y tasa de degradabilidad) y otras variables, como la tasa de pasaje de las fracciones sólida y líquida del rumen, volumen ruminal y pH del fluido ruminal (Benchaar, *et al.*, 1998; Johnson y Johnson, 1995). La ecuación de Blaxter y Claperton (1965) consideró inicialmente las características del alimento y es en base a ello que la mayoría de los estimativos de emisión de metano se han derivado.

La mayor parte de las ecuaciones simples más generalizadas muestran que éstas ecuaciones no tienen un buen desempeño frente a aquellas que intentaron representar aspectos importantes de la composición de la dieta, pero en general existieron cantidades significativas de sesgo y desviación de la pendiente de regresión de la unidad para todas las ecuaciones. La baja precisión de predicción de las ecuaciones de metano en modelos puede introducir errores sustanciales en los inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y dar lugar a recomendaciones de mitigación incorrectas (Ellis, *et al.* 2010).

Técnica con trazador de SF₆

La técnica que utiliza el hexafluoruro de azufre (SF₆) como trazador para la medición de las emisiones de metano entérico fue desarrollada por Kristen A. Johnson y Hal H. Westberg, en Washington State University, Pullman, Washington, EE.UU. (Johnson et al., 1994).

La técnica del trazador de SF₆ funciona sobre la base de que las excreciones de dos gases procedentes del rumen se dispersan de forma idéntica en el entorno del animal y, por tanto, tienen una probabilidad idéntica de interceptación por un muestreador "de aliento" situado cerca de la cavidad nasal. Uno de esos gases es el trazador intencionado, SF₆, que tiene una tasa de liberación conocida, mientras que la tasa de liberación del otro, CH₄, está bajo investigación. Por lo tanto, la relación de concentración de esos gases en una muestra de aliento, acumulada durante un ciclo de alimentación, puede equipararse a la relación de sus tasas de liberación, teniendo debidamente en cuenta la presencia de SF₆ y CH₄ en el aire "de fondo". Esto permite estimar la tasa de liberación de CH₄ desconocida. Se puede pensar que el trazador permite cuantificar la eficiencia de la interceptación de la respiración (Lassey y Hegarty, 2014).

Con esta técnica se puede mencionar que puede determinar del 93-98% del total de metano producido, comparado con las cámaras de respiración. Esta técnica es sencilla, en la cual las muestras de gas eructado son continuamente obtenidas a través de un tubo capilar, conectado a un colector localizado en el cuello del animal. Luego de la recolección de las muestras el colector es presurizado con nitrógeno (N²) y con cromatografía de gases se determina el metano y el SF₆ (DeRamus, et al., 2003).

El desarrollo de esta técnica se fundamenta en el conocimiento de que aproximadamente el 95 % del CH₄ ruminal (87 % de la producción total) es eructado y que el 89 % del CH₄ generado en intestino grueso (11 % del total) se elimina a través de los pulmones. Así, aproximadamente el 99 % de la producción total de CH₄ es exhalado por boca y nariz (83 % por eructación y 16 % por exhalación) (Murray, et al., 1976).

Johnson *et al.*, (1994) señala que un aspecto clave de la técnica es el uso del trazador. Para ello, se introduce en el rumen del animal una cápsula conteniendo SF_6 , con una tasa de liberación conocida. El trazador se acumula en el rumen y es posteriormente liberado por eructos junto con el CH_4 . El principio de esta técnica radica en que se ha demostrado que la razón entre las concentraciones medias de CH_4 y SF_6 , determinadas en dichas muestras de aire, es una buena aproximación a la razón entre la tasa de emisión de cada cápsula y la tasa media de emisión de CH_4 .



Sistema de colección de gases en condiciones de pastoreo.

Entonces, si se conoce la cantidad total de trazador liberada en el lapso de recolección de la muestra, multiplicando esta cantidad por la razón de las concentraciones CH_4/SF_6 , se obtiene la emisión de CH_4 en el lapso de recolección de la muestra. En relación al trazador utilizado para la medición de las emisiones de CH_4 , este debe satisfacer algunas condiciones (Primavesi *et al.*, 2004):

- a) La tasa de liberación de la cápsula debe ser constante y predecible.
- b) El marcador no debe influir en la fermentación ruminal.

- c) Debe detectarse a bajas concentraciones.
- d) Debe ser inerte y ser tóxico. Varios trazadores fueron propuestos y usados para estimar CH_4 pero solo el SF_6 cumple satisfactoriamente con los requisitos propuestos (Johnson *et al.*, 2007).

Pinares-Patiño *et al.* (2007) indican que una de las principales ventajas de la técnica de trazado por SF_6 frente al uso de cámaras atmosféricas es que elimina la necesidad de encerrar al animal, permitiendo así que este se pueda mover y pastorear libremente. Además, no es necesario tomar muestras en el rumen de los animales dado que todo el CH_4 producido es excretado ya sea por exhalación o eructación, y por consiguiente solo una pequeña fracción, pero representativa de esta excreción es recogida alrededor de la boca y la nariz de cada animal, la cual relacionándola con la cantidad de trazador muestreado se traducirá en una buena estimación de la producción de CH_4 . La técnica de trazado por SF_6 permite la medición de las emisiones de gases a partir de animales individuales bajo condiciones de pastoreo y tiene un importante potencial para superar la falta de información en esta área.

EMISIONES DE METANO POR LA PRODUCCIÓN ANIMAL EN ALTURA

Vacunos

La importancia de los rumiantes como contribuyentes al calentamiento global a través de la producción de metano es bien conocida. La emisión de metano (g/d) varía dependiendo del tipo de suplementación y aditivo recibido, siendo mayor cuando los vacunos recibieron ensilado de avena ($421,70 \pm 43,44$) frente a la suplementación con concentrado ($367,70 \pm 116,46$) y taninos ($330,56 \pm 66,65$); sin embargo cuando esta producción es expresada en g/kg PV y g/W_{0,75}, los valores no difieren

estadísticamente entre suplementación con ensilado y concentrado, siendo estos superiores al producido con taninos (Tabla 11).

La reducción en la emisión de metano podría en parte estar atribuido al efecto que tienen los taninos en la degradabilidad de los nutrientes, ya que inhiben la actividad enzimática, disminuyen las poblaciones de protozoarios y/o bacterias celulolíticas y forman enlaces con las proteínas del forraje, reduciendo la degradación de la proteína ruminal (McSweeney *et al.*, 2001; Jakmola *et al.*, 2010).

De otro lado, la inclusión de concentrados ricos en almidones (cebada, trigo, maíz) tiene un efecto depresivo sobre la metanogénesis, favoreciendo la producción de propionato, y se disminuye la relación metano/materia orgánica fermentada en el rumen, generando la reducción de las emisiones de CH₄ (Johnson y Johnson, 1995; Moss *et al.*, 2000).

Según Johnson y Johnson (1995), las vacas producen entre 250 y 500 litros de metano al día, y Jouany (1994) indica que una vaca adulta puede producir alrededor de 300 a 600 l de CH₄/vaca/día.

Tabla 11. Emisiones de metano en vacunos bajo condiciones de altura

Tipo de alimento	Media	S.D.	S.E.	Mínimo	Máximo	Mediana
CH₄, g/d						
Pasto natural(*) + Taninos	330,56 a	66,65	12,60	208,21	424,24	336,38
Pasto natural + Concentrado	367,70 a	116,46	22,01	113,62	524,51	387,79
Pasto natural + Silaje	421,70 b	43,44	8,21	323,35	492,19	431,25
CH₄/kg PV, g/d						
Pasto natural + Taninos	0,68 a	0,17	0,03	0,37	0,92	0,67
Pasto natural + Concentrado	0,78 ab	0,28	0,05	0,25	1,27	0,79
Pasto natural + Silaje	0,87 b	0,17	0,03	0,50	1,09	0,94
CH₄/W0,75, g/d						
Pasto natural + Taninos	3,18 a	0,73	0,14	1,81	4,27	3,22
Pasto natural + Concentrado	3,62 ab	1,24	0,23	1,15	5,73	3,71
Pasto natural + Silaje	4,06 b	0,68	0,13	2,53	4,98	4,25

(*) Pasto natural: Chillihuar (Fedo – mufa).



Colección de metano entérico en vacunos al pastoreo.

Chase (2007) reporta emisiones de CH_4 de 587 l/vaca/día obtenidos para vacas norteamericanas, mediante el sistema de valoración proteica y energética desarrollado por la Universidad de Cornell, conocido como “Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS)”; inclusive se estima que las emisiones pueden alcanzar los 793 l/animal/día, en vacas de muy alta producción. Los trabajos realizados en Nueva Zelanda con vacas lecheras alimentadas con pastos subtropicales, registraron emisiones de 422 g/día (Ulyatt *et al.*, 1999).

Dini (2012) en su estudio realizado en Uruguay con vacas en pastoreo comparando una pastura rica en leguminosas (60 % del total de materia seca) y otra pastura rica en gramíneas (76 % del total de materia seca), indica que la emisión de CH_4 por animal fue de 368 g/d, el cual coincide con los reportados por Westberg *et al.* (2001), los cuales están en el rango de 345-388 g.

El análisis de varios experimentos en los que se midió la emisión de CH_4 a partir de distintos tipos de dieta (forrajes, mixtas y peletizadas), indicó que en cada tipo de dieta con un consumo a nivel de mantenimiento, la producción de CH_4 se incrementó a medida que aumentó la digestibilidad aparente de ésta; la producción media de CH_4 fue de 8,07 Kcal por cada 100 Kcal ingeridas, con una escala de 6,2 a 10,8, correspondiendo el valor más bajo a pasto festuca peletizado y el más alto a pulpa de remolacha como alimento único (Blaxter y Clapperton, 1965).

Se estima que la formación de metano representa una pérdida entre 7 % y 10 % de la energía bruta de la ingesta de los animales (Moss y Jouany, 2000), dependiendo del nivel de consumo de alimento, la composición de la dieta y la digestibilidad aparente de la energía alimentaria. Según otros autores, la pérdida de energía bruta por metano puede ser del 2 % en animales alimentados con dietas ricas en granos y de alrededor del 12 % en animales alimentados con pasturas de baja calidad.

Emisión de metano por camélidos sudamericanos

Molano y Clark (2008) reportaron que la producción de metano por $\text{kg}^{0,75}$ de llamas fue 38 % y 33 % menor que la de ovinos y caprinos, respectivamente. Anteriormente, Vernet *et al.* (1997) también informaron que las llamas produjeron un 23 % menos de metano por $\text{kg}^{0,75}$ en comparación con las ovejas. La producción de metano, al menos en rumiantes verdaderos, se ha correlacionado positivamente con la ingesta de MS; en este estudio el consumo de MS por $\text{kg}^{0,75}$ en llamas fue menor que los ovinos y caprinos, lo cual también se encontró en otros estudios (Warmington *et al.*, 1989; Fraser y Baker;

Davies *et al.*, 2007). Por lo tanto, la menor producción de metano por kg en llamas puede atribuirse en cierta medida a una menor ingestión de MS por kg, lo que a su vez debe ser consecuencia de las reducidas necesidades de mantenimiento y el metabolismo basal de las llamas en comparación con los verdaderos rumiantes.

Sin embargo, se encontró interesante que las llamas también emitieron sustancialmente menos CH₄ por kg de ingestión de MS en comparación con las ovejas y cabras, a pesar de que la emisión de CH₄ por kg de MS fue notablemente constante en las dos dietas y de rango similar para ovejas y cabras. Las llamas produjeron así aproximadamente un 25 % menos de metano (ajustado por ingestión de MS) que las verdaderas especies de rumiantes (24,0 frente a 30,3 y 32,0 l d⁻¹ kg⁻¹ DMI, respectivamente).

Se ha informado que el movimiento de los líquidos a través del primer compartimiento de los camélidos debe ser más rápido que en los verdaderos rumiantes debido a las características anatómicas especiales, lo que conduce a mayores tasas de paso de líquido (San Martin y Bryant, 1989). Si esto es correcto, se puede anticipar que las fracciones hidrosolubles y más fácilmente fermentables de la dieta en mayor medida que en los rumiantes verdaderos pueden escapar a la fermentación de los camélidos y, por tanto, no contribuir a la producción de metano.

Por su parte, Pinares *et al.* (2003) reportó que la producción de metano entre alpacas y ovinos no difiere cuando estos son alimentados con heno de alfalfa (como % GEI), pero la producción es mayor en alpacas cuando son pastoreadas en un asociado de rye grass + trébol blanco y *Lotus*. Así mismo indica que las diferencias en la producción de metano entre estas especies estaría determinado en parte por la tasa de flujo de las partículas del alimento en el estómago.

Dittmann (2014), realizando un estudio con alpacas, llamas y camellos alimentados con alfalfa en cámaras respiratorias, encontró que los camélidos producen menos metano cuando es expresado en base al peso corporal ($0,32 \pm 0,11$ l/kg/d) y es comparado con otros estudios en rumiantes; sin embargo no se encontraron diferencias significativas cuando la producción de metano es expresado sobre la base del

consumo de fibra detergente neutro (FDN), indicando que las vías metabólicas de la metanogénesis forman parte de la digestión microbial de la fibra y que son similares en ambos, y que la baja producción de metano en camélidos estaría explicada por el bajo consumo en los camélidos.

Alpacas

En las zonas altoandinas del Perú y bajo condiciones de pastoreo, la emisión de metano en alpacas (g/d) fue mayor con los pastos cultivados ($34,54 \pm 9,45$) frente a los pajonales ($26,44 \pm 7,11$) y bofedales ($25,33 \pm 6,45$), los cuales no guardan diferencias estadísticas entre sí; pero cuando la producción es expresada en g/kg PV y g/WO,75, se aprecia diferencias entre los tres tipos de pastizales siendo mayor en el asociado rye grass + trébol, seguido del pajonal y finalmente el bofedal, donde en todos los casos la producción de metano es menor (Tabla 12).

Estos resultados coinciden con lo reportado por Pinares *et al.* (2003) quien también encontró mayor producción de metano en alpacas cuando son pastoreadas en un asociado de Ryegrass + trébol blanco y Lotus.



Camélidos con tanques de colección de metano en corrales de descanso.

Tabla 12. Emisiones de metano en alpacas bajo condiciones de altura

Tipo de alimento	Media	S.D.	S.E.	Mínimo	Máximo	Mediana
CH₄, g/d						
Pasto cultivado, rye grass + trébol	34,54 b	9,45	1,44	11,20	49,60	36,00
Pasto natural, pajonal (Feri-Mupe)	26,44 a	7,11	1,10	13,59	49,24	25,93
Pasto natural, bofedal (Dimu)	25,33 a	6,45	0,81	14,11	49,21	24,92
CH₄/kg PV, g/d						
Pasto cultivado, rye grass + trébol	0,76 c	0,20	0,03	0,20	1,12	0,78
Pasto natural, pajonal (Feri-Mupe)	0,59 b	0,17	0,03	0,28	1,15	0,60
Pasto natural, bofedal (Dimu)	0,40 a	0,11	0,01	0,24	0,76	0,39
CH₄/W0.75, g/d						
Pasto cultivado, rye grass + trébol	1,98 c	0,52	0,08	0,54	2,87	2,12
Pasto natural, pajonal (Feri-Mupe)	1,53 b	0,43	0,07	0,77	2,93	1,52
Pasto natural, bofedal (Dimu)	1,14 a	0,31	0,04	0,67	2,09	1,09

Llamas

En cuanto a las llamas en pastizales altoandinos la producción de metano en un pajonal de ladera fue de $36,68 \pm 10,43$ g/d, al ser expresado en g/kg PV el valor alcanzado es de $0,42 \pm 0,12$ y de $1,29 \pm 0,36$ al ser expresado en g/W0,75.

Molano y Clark (2008) y Vernet *et al.* (1997), mencionan que las llamas producen menos metano que los ovinos y caprinos en rangos que fluctúan entre 23 % a 38 %, este hecho podría deberse al menor consumo de materia seca en las llamas, como consecuencia de sus reducidas necesidades de mantenimiento y el menor metabolismo basal (Warmington *et al.*, 1989; Fraser y Baker, Robinson y otros, 2006; Davies *et al.*, 2007).

Se ha informado que el movimiento de los líquidos a través del primer compartimiento de los camélidos debe ser más rápido que en los verdaderos rumiantes debido a sus características anatómicas especiales, lo que conduce a mayores tasas de paso de líquido (San Martin y Bryant, 1989).



Llamas en proceso de adaptación para colección de metano entérico.

Tabla 13. Emisiones de metano en llamas bajo condiciones de altura

Tipo de Alimento	Media	S.D.	S.E.	Mínimo	Máximo	Mediana
CH₄, g/d						
Pajonal de ladera (Feri-Caam)	36,68	10,43	1,50	15,99	55,99	38,12
CH₄/kg PV, g/d						
Pajonal de ladera (Feri-Caam)	0,42	0,12	0,02	0,18	0,67	0,42
CH₄/W0.75, g/d						
Pajonal de ladera (Feri-Caam)	1,29	0,36	0,05	0,55	1,98	1,28

Emisión de metano en ovinos

Hammond *et al.* (2013), alimentando con trébol blanco y rye grass en ovinos, observa un incremento marcado en la producción de metano (g/d) pero una disminución del 21 % cuando es expresado en g/kg MS ingeridos; aunque registró una fuerte disminución en la producción de metano con el incremento en el consumo de trébol blanco en comparación con el rye grass, los efectos fueron inconsistentes y la composición química de la dieta tuvo un efecto mínimo en la producción de metano.

Leuning *et al.* (1998), utilizando dos técnicas (método del balance de masa micrometeorológico y la técnica del SF₆), reportó niveles de producción de metano de $11,9 \pm 1,5$ g/ovino/día y $11,7 \pm 0,4$ g/ovino/día respectivamente; estos valores fueron obtenidos con ovinos con peso promedio de 27 kg. Por su parte Savia *et al.* (2014), reporta niveles de producción de metano que van de $22,7 \pm 1,0$ y $39,9 \pm 1,3$ g/ovino/día en dos épocas del año.

Pinares (2011) reportó (en corderos) niveles de producción de metano de $18,4 \pm 0,38$ g/kg MS consumida, estimando que los índices de repetibilidad y heredabilidad para producción de metano fueron de 0,16 y 0,30 respectivamente.

Los resultados obtenidos muestran que la producción de metano (g/d) difiere dependiendo del tipo de alimentación y suplementación recibida, siendo mayor con pastos naturales ($47,65 \pm 13,67$) y pastos cultivados ($40,82 \pm 13,40$) frente a los ovinos que recibieron concentrado ($31,24 \pm 12,66$) como suplemento. Este mismo efecto es observado al expresar la producción en g/W0,75, donde con los pastos naturales y cultivados se aprecia la mayor producción ($2,55 \pm 0,71$ y $2,13 \pm 0,68$) frente al concentrado ($1,63 \pm 0,69$); cuando la producción es expresada en g/kg PV se encuentra diferencias entre los tres tratamientos, persistiendo la mayor producción en los pastos naturales, seguido de los cultivados y finalmente el concentrado (Tabla 14).

Esta variación en la producción de metano estaría determinada por la cantidad y calidad de alimento que afecta la tasa de digestión y la velocidad de paso en el proceso de fermentación (Van Soest, 1982);

los pastos naturales altoandinos muestran una alta variabilidad en el contenido de proteína cruda (5,7 5 a 10,8 %), siendo mayor durante los meses de mayo y noviembre (10,8 5 y 10,81 % respectivamente) (Huisa *et al.*, 1985) pero menor al contenido nutricional del asociado rye grass + trébol. Hammond *et al.* (2013), alimentando con trébol blanco y rye grass en ovinos, observa un incremento marcado de 187 % en la producción de metano (g/d) pero una disminución del 21 % cuando esta es expresada en g/kg MS ingerida.

La suplementación con concentrado tuvo un efecto positivo en la reducción de las emisiones de metano por su efecto depresivo de la metanogénesis (Johnson y Johnson, 1995; Moss *et al.*, 2000; Kurihara *et al.*, 1999 y Martin *et al.*, 2006).

Los valores de producción de metano fueron mayores a los reportados por Hammond *et al.* (2013) y Pinares (2011), pero dentro de los rangos reportados por Savian *et al.* (2014). Estas diferencias podrían estar atribuidas al tipo y edad de los animales, tipo de alimentación y época de evaluación.

Tabla 14. Emisiones de metano en ovinos bajo condiciones de altura

Tipo de alimento	Media	S.D.	S.E.	Mínimo	Máximo	Mediana
CH₄, g/d						
Pasto natural(*) + Concentrado	31,24 a	12,66	1,74	15,51	67,88	26,38
Pasto cultivado, rye grass + trébol	40,82 b	13,40	2,04	15,19	76,12	39,11
Pasto natural	47,65 b	13,67	2,16	15,80	64,29	52,42
CH₄/kg PV, g/d						
Pasto natural + Concentrado	0,61 a	0,26	0,04	0,30	1,48	0,51
Pasto cultivado, rye grass + trébol	0,79 b	0,25	0,04	0,31	1,44	0,78
Pasto natural	0,96 c	0,27	0,04	0,31	1,30	1,05
CH₄/W0,75, g/d						
Pasto natural + Concentrado	1,63 a	0,69	0,09	0,80	3,84	1,36
Pasto cultivado, rye grass + trébol	2,12 b	0,68	0,10	0,81	3,88	2,07
Pasto natural	2,55 b	0,71	0,11	0,83	3,43	2,79

(*) Pasto natural: Chillihuar (Fedo – mufa).



Ovinos pastoreando un asociado rye grass.

Relación entre el proceso digestivo - ruminal y su producción de metano

Según Murray *et al.* (1976), las emisiones rectales representan alrededor del 2 al 3 por ciento del total de las emisiones de CH_4 de ovejas y vacas lecheras, por tanto aproximadamente entre el 98 % y 99 % se expulsa por los pulmones y en el eructo (83 % por eructación y 16 % por exhalación). La eliminación de metano vía eructo se inicia

a las cuatro semanas de vida, cuando los alimentos sólidos empiezan a ser retenidos en el retículo-rumen, y a medida que éste se va desarrollando la fermentación y la producción de gases va en aumento.

La producción de metano producto de la fermentación ruminal depende principalmente de la cantidad y calidad de alimento que afecta la tasa de digestión y la velocidad de paso en el proceso de fermentación (Van Soest, 1982). El metano se produce en condiciones estrictamente anaeróbicas por procariotas metanógenas altamente especializadas, las cuales son todas Archaea un grupo microbial distinto de las eubacterias (Van Soest, 1994; Weimer, 1998).

Las bacterias metanógenas, dentro de las cuales se incluyen *Methanobrevibacter ruminantium*, *Methanobacterium formicicum*, *Methanomicrobium mobile* (Stewart, 1988; Van Soest, 1994), constituyen una clase especial en la población ruminal por su papel en la regulación de la fermentación total al eliminar H_2 . La reducción de CO_2 es el método primario por el que se produce CH_4 en el rumen, sin embargo algunas bacterias metanógenas como *Methanosarcina barkerii*, utilizan metanol, metilamina y acetato para producir CH_4 . Al mantener baja la concentración de H_2 , mediante la formación de CH_4 , las bacterias metanógenas promueven el crecimiento de otras especies bacterianas y permiten una fermentación más eficaz (Yokoyama y Johnson, 1993).

ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN DE LAS EMISIONES DE METANO

Compuestos bioactivos de las plantas

Esta categoría comprende una variedad de compuestos secundarios de las plantas, específicamente taninos, saponinas, aceites esenciales y sus ingredientes activos (Hristov, *et al.*, 2013).

Taninos

Este grupo se considera uno de los más importantes y, junto a las saponinas, muestran el potencial de mitigación más promisorio dentro de esta categoría. Los taníferos como aditivos alimenticios o como plantas taníferas pueden reducir las emisiones de metano entérico desde 20 % hasta un 30 %.

Los taninos son polifenoles capaces de ligarse a compuestos de la dieta, como proteínas y carbohidratos (Cortés *et al.*, 2009; Patra y Saxena, 2010; Jakmola *et al.*, 2010). Esto podría disminuir la degradabilidad de algunos nutrientes de la dieta, inhibir la actividad enzimática, disminuir las poblaciones de protozoarios o de bacterias celulolíticas, y en consecuencia disminuir la producción de metano (McSweeney *et al.*, 2001; Jakmola *et al.*, 2010).

Los taninos condensados (TC), comúnmente encontrados en la madera de las plantas leñosas, reducen la metanogénesis ruminal mediante la disminución de la formación de hidrógeno e inhibiendo a los metanogénicos, y la reducción en la degradabilidad de la materia seca (Patra y Saxena, 2011). Woodward *et al.* (2001) reporta que la producción de metano de vacas se vio reducida en un 23 % por kg/MS consumiendo ensilado de loto (*Lotus corniculatus*) a comparación con el consumo de ensilado de rye grass.

Concentrado

El efecto de disminuir la intensidad de las emisiones de metano dependerá del nivel de inclusión, la respuesta en la producción, los efectos sobre la digestibilidad de la fibra, la función del rumen, el contenido de grasa de la leche, y el tipo de grano y su procesamiento. La reducción de metano se debe a que una inclusión de concentrado en pequeñas cantidades probablemente incrementará la productividad animal. Uno de los problemas con el uso de concentrado como opción de mitigación es que para muchos países no es económicamente rentable y no es aceptado por los productores, además de que es posible que no sea un sustituto viable de los forrajes de alta calidad.

Calidad y manejo del forraje

La calidad del forraje, el nivel de concentrado, la digestibilidad de la dieta y el consumo de alimento están interrelacionados y afectan directamente la producción de metano en el rumen. Según Blaxter y Clapperton (1965), el aumento del consumo de alimentos de baja calidad y menos digestibles tiene poco efecto en la producción de metano cuando se expresa con base en el consumo de materia seca; sin embargo, si los alimentos cuentan con una digestibilidad más alta aumenta el consumo de alimento, generando por tanto una baja producción de metano.

CONSIDERACIONES FINALES

Por las condiciones climáticas y de altura en los Andes peruanos, el tipo de forrajes disponibles para los animales de pastoreo tienen sus propias particularidades de dependencia climática, las cuales afectan el nivel de aprovechamiento de los nutrientes y, por ende, sobre las emisiones de metano.

Estas emisiones son elevadas. En el caso de los vacunos la emisión de metano (g/d) es mayor cuando los animales consumen forrajes (ensilado de avena $421,70 \pm 43,44$) frente a la suplementación con alimento balanceado (concentrado $367,70 \pm 116,46$), la incorporación de taninos permite reducir el nivel de emisiones ($330,56 \pm 66,65$), considerando que el país cuenta con una amplia diversidad florísticas que constituye un potencial para su empleo en acciones de mitigación por la reducción de emisiones de metano..

En los ovinos los estudios realizados mostraron que la emisión de metano (g/d), fue mayor con pastos naturales ($47,65 \pm 13,67$) y pastos cultivados ($40,82 \pm 13,40$) frente al concentrado ($31,24 \pm 12,66$); en g/WO,75, esta es mayor con los pastos naturales y cultivados ($2,55 \pm 0,71$ y $2,13 \pm 0,68$) frente al concentrado ($1,63 \pm 0,69$); y en g/kg PV la mayor producción es en los pastos

naturales ($0,96 \pm 0,27$), seguido de los cultivados ($0,79 \pm 0,25$) y finalmente el concentrado ($0,61 \pm 0,26$).

En cuanto a las alpacas, estas tienen mayores emisiones de metano con los pastos cultivados ($34,54 \pm 9,45$) frente a los pajonales ($26,44 \pm 7,11$) y bofedales ($25,33 \pm 6,45$); pero cuando la producción es expresada en g/kg PV y g/WO,75, se aprecia diferencias entre los tres tipos de pastizales siendo mayor en el asociado rye grass + trébol, ($0,76 \pm 0,20$ y $1,98 \pm 0,52$) seguido del pajonal ($0,59 \pm 0,17$ y $1,53 \pm 0,43$) y finalmente el bofedal ($0,40 \pm 0,11$ y $1,14 \pm 0,31$) donde en todos los casos la producción de metano es menor.

Finalmente, las llamas tienen valores de emisión de metano en promedio de $36,68 \pm 10,43$ g/d, en un pajonal de ladera y cuando esta es expresada en g/kg PV el valor alcanzado es de $0,42 \pm 0,12$ y de $1,29 \pm 0,36$ en g/WO,75; valores que son inferiores a los emitidos por las alpacas, lo que muestra el nivel de adaptación que tienen las llamas al consumo de pastizales con bajo aporte de nutrientes y altos contenidos en fibra dietaria.

Estos resultados son los primeros reportes realizados en el Perú bajo condiciones de altura, los cuales permitieron sentar las bases para futuros estudios con el empleo de la técnica del trazador de SF₆. Debido a que la metodología desarrollada por Jhonson (1994), fue en condiciones de pisos altitudinales bajos, la implementación en condiciones de altura representó un desafío desde el punto de vista metodológico, por lo que se tuvieron que realizar ajustes al método tradicional en cuanto al tiempo requerido para la calibración de los tubos de permeación, manejo de presiones en los canister, tasas de permeación y métodos cromatográficos de análisis, entre otros.

Los autores

REFERENCIAS

- AGUILAR, G. A. S. 2020. Evaluación de la emisión de metano de alpacas pastoreadas en una asociación *Calamagrostis Amoena* – *Festuca orthophyla* al inicio de lluvias. Tesis UNSAAC, Cusco, Perú. pp 267.
- BLAXTER K.L. y CLAPPERTON J.L., 1965. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. *Br J Nutr*; 19:511–522.
- CELLI, P.; COWIESON, A. J.; FRU-NJI, F.; STEINERT, R. E.; KLUENTER, A. M. y VERLHAC, V. 2017. Gastrointestinal functionality in animal nutrition and health: New opportunities for sustainable animal production. *Animal Feed Science and Technology* 243: 88 – 100.
- CHARMLEY, E.; WILLIAMS, S. R. O.; MOATE, P. J.; HEGARTY, R. S.; HERD, R. M.; ODDY, V. H.; REYENGA, P.; STAUNTON, K. M.; ANDERSON, A. y HANNAH, M. C. 2016. A universal equation to predict methane production of forage-fed cattle in Australia. *Animal Production Science*, 56: 169 – 180.
- CHINO, V. L. B. 2016. Evaluar la cantidad de metano producido en vacunos bajo condiciones de pastoreo con suplementación nutricional (ensilado y taninos) a 4300 m s. n. m. en época de secas. Tesis UNSAAC, Cusco, Perú. pp. 113.
- CONWAY, P. L., 1994. Function and regulation of the gastrointestinal microbiota of the pig. En: Souffrant, W. B. y Hagemester, H. (Eds.), *Proceedings of the VIth International Symposium on Digestive Physiology in Pigs*. EAAP, Publication, Dummerstof. pp. 231–240.
- DAVIES H. L.; ROBINSON T.F.; ROEDER BL, SHARP M.E.; JOHNSTON N. P.; CHRISTENSEN A. C. y 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.

- DINI VILAR YOANA. 2012. Emisión de metano entérico de vacas lecheras en pastoreo de praderas dominadas por gramíneas o por leguminosas. Tesis de maestría.
- DITTMANN M.; ULLRICH R.; LANG R., MOSER D.; GALEFFI C.; KREUZER M. y CLAUSS M. 2014. Methane emission by camelids. PLoS ONE 9(4): e94363.
- ELLIS, J. L.; BANNINK, A.; FRANCE, J.; KEBREAB, E. y DIJKSTRA, J. 2010. Evaluation of enteric methane prediction equations for dairy cows used in whole farm models. *Global Change Biology*. 16: 3246 – 3256.
- FLOREZ A. y MALPARTIDA E. 1987. Manejo de praderas nativas y pasturas en la región altoandina del Perú. Fondo de libro del Banco Agrario del Perú. Tomo I y II.
- FLOREZ A. 2005. Manual de pastos y forrajes altoandinos. ITDG AL, OIKOS. 53 p.
- FRASER M. D. y BAKER D. H. 1998. A comparison of voluntary intake and in vivo digestion in guanacos (*Lama guanicoe*) and sheep given fresh grass. *Anim Sci*. 67:567–572.
- FOWLER, M. E. y BRAVO, P. W. 2013. *Medicine and Surgery of Camelids*, Third Edition. Blackwell Publishing, Inc. Wiley Online Library. USA.
- GOMEZ C. y FERNANDEZ M. 2009. Análisis comparativo de las emisiones de metano y efecto del cambio climático sobre la ganadería en el Perú. Los impactos del cambio climático sobre el agua y el manejo de los recursos naturales. *Sepia XIII*.
- HAMMOND K.; BURKE J.; KOOLAARD J.; MUETZEL S.; PINARES C. y WAGHORN G. 2013. Effects of feed intake on enteric methane emissions from sheep fed fresh White clover (*Trifolium repens*) and perennial Ryegrass (*Lolium perenne*) forages. *Animal Feed Science and Technology* 179: 121 – 132.
- HRISTOV A. N.; FIRKINS J. L.; DIJKSTRA J, KEBREAB E.; WAGHORN G.; MAKKAR H. P. S.; ADESOGAN A. T.; YANG W, LEE C.; GERBER P. J.; HENDERSON B. y TRICARICO J. M. 2013. Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I.A review of enteric methane mitigation options/ *J Anim Sci*, 91:5045-5069.
- HRISTOV, A. N.; OH, J.; LEE, C.; MEINEN, R.; MONTES, F.; OTT, T., FIRKINS, J.; ROTZ, A.; DELL, C.; ADESOGAN, A.; YANG, W.; TRICARICO, J.; KEBREAB, E.; WAGHORN, G.; DIJKSTRA, J. y OOSTING, S. 2013. Mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero en la producción ganadera – Una revisión de las opciones técnicas para la reducción de las emisiones de gases diferentes al CO₂. Editado por Pierre J. Gerber, Benjamin Henderson y Harinder P.S. Makkar. *Producción y Sanidad Animal* FAO Documento No. 177. FAO, Roma, Italia.
- HUISA T. 1985. Composición botánica y valor nutricional de las dietas de alpacas (*Lama pacos*) en la época seca. Tesis Universidad San Antonio Abad del Cusco. Cusco, Perú.

- IPCC. 2006. Guidelines for national greenhouse gas inventories, Disponible en: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>.
- JAKHMOLA, R. C.; PAHUJA, T. y RAGHUVANSI, S. K. 2010. Feeding strategies to reduce enteric methane production in ruminants: a review. *Indian J Small Rumin*, 16: 1-17
- INIA. 2014. Taller de medición de gases de efecto invernadero en sistemas ganaderos – metano entérico. Remehue, Chile.
- JOHNSON, K. A.; HUYLER, M.; WESTBERG H.; BRIAN L. y ZIMMERMAN P, 1994. Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a SF₆ tracer technique. *Environ Sci Technol*; 28:359–362.
- JOHNSON K.A.; JOHNSON D. E. 1995. Methane emissions from cattle. *J Animal Science*; 73: 2483-2492
- JOUANY, J. P. 1994. Manipulation of microbial activity in the rumen. *Archives of Animal Nutrition* 46, 133-153.
- JONKER, A.; DEIGHTON, M.; GERE, J. I. y KOOLAARD, J. 2020. Guidelines for use of sulphur hexafluoride (SF₆) tracer technique to measure enteric methane emissions from ruminants (Second edition). Book. Global Research Alliance, on Agricultural Greenhouse Gases. Ministry for Primary Industries. New Zealand.
- JORDAN, M. L. 2017. Evaluación de la emisión de metano en la crianza de llamas al pastoreo en el Centro Experimental La Raya, UNSAAC, Cusco. Tesis UNSAAC. Cusco, Perú. pp. 95.
- KARASOV, W. H. y DOUGLAS, A. E. 2013. Comparative Digestive Physiology. *Compr Physiol*. April; 3(2): 741 – 783.
- KIANI, A. y NIELSEN, M. O. 2015. Differential metabolic and endocrine adaptations in llamas, sheep and goats fed high and low protein grass – based diets. *Domestic Animal Endocrinology*. 53: 9 – 16.
- LASSEY, K. R.; PINARES-PATIÑO, C. S.; MARTIN, R. J.; MOLANO, G. y MCMILLAN, A. M. S. 2011. Enteric methane emission rates determined by the SF₆ tracer technique: Temporal patterns and averaging periods. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 166–167, 183–191.
- LASSEY, K. R. y HEGARTY, R.S. 2014. Overview of the SF₆ tracer technique and its evolution. Taller de medición de gases de efecto invernadero en sistemas ganaderos – metano entérico. INIA – Remehue, Chile.
- LEUNING R.; BAKER S.; JAMIE I., HSU C.; KLEIN L.; DENMEAD O. y GRIFFITH D. 1998. Methane emission from free-ranging sheep: a comparison of two measurement methods. *Atmospheric Environment* 33: 1357 – 1365.
- LIPA, A. V. 2018. Evaluación de la cantidad de metano producido en vacunos bajo condiciones de pastoreo y suplementación en época de secas en el Centro Experimental La Raya. Tesis UNSAAC. Cusco, Perú. pp. 108.

- MAMANI, D. L. M. 2018. Determinación de emisión de metano en alpacas, bajo condiciones de pastoreo en el Centro Experimental La Raya en época de lluvias. Tesis UNSAAC. Cusco, Perú. pp 100.
- LIU, Q.; DONG, C. S.; LI, H. Q.; YANG, W. Z.; JIANG, J. B.; GAO, W. J.; PEI, C. X. y LIANG, Z. Q. 2009. Forestomach fermentation characteristics and diet digestibility in alpacas (*Lama pacos*) and sheep (*ovis aries*) fed two forage diets. *Animal Feed Science and Technology*. 154: 151 – 159.
- MILLS, J. A. N.; KEBREAB, C. M.; YATES, C. M.; CROMPTON, L. A.; CAMMELL, M. S.; DHANOA, R. E.; AGNEW, R. E. y FRANCE, J. Alternative approaches to predicting methane emissions from dairy cows. *Journal Animal Science*. 81: 3141 – 3150.
- McSWEENEY, C. S.; PALMER, B.; MCNEILL, D. M. y KRAUSE, D. O. 2001. Microbial interactions with tannins: Nutritional consequences for ruminants. *Animal Feed Science and Technology* 91:83-93.
- MOLANO G. y CLARK H. 2008. The effect of level of intake and forage quality on methane production by sheep. *Austral, J. Exp. Agr.* 48: 219 – 222.
- MOSS A. R.; JOUANY J.P. y NEWBOLD J. 2000. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. INRA EDP Sciences. *Ann Zootech*; 49: 231-253.
- MOSCOSO-MUÑOZ, J. E.; FRANCO, F. F.; SAN MARTIN, F.; OLAZÁBAL, L. J.; CHINO, V.L.B. y PINARES-PATIÑO, C. 2017. Producción de metano en vacunos al pastoreo suplementados con ensilado, concentrado y taninos en el altiplano peruano en época seca. *Rev. Inv. Vet. Perú*: 28 (4): 822 – 833.
- MOSCOSO-MUÑOZ, J. E.; ESTRADA, Z. A.; ALVAREZ, M. D. A.; PALOMINO, T. C.; LOPEZ, D. V.; CARDENAS, R. J. y BEJAR, S. J. 2016. Valoración nutricional de pastizales naturales. Proyecto de Investigación FEDU – UNSAAC. Cusco, Perú.
- MOSCOSO-MUÑOZ J.; FLOREZ, A. S.; BRAVO, M. W.; ALARCÓN, B.V.; PURDY, S. R.; OLAZABAL, L. J. y FRANCO F.F. 2018. Estado nutricional de llamas Q'ra y Ch'aku (madres y crías) y la calidad nutricional de los pastizales en el centro de investigación CICAS – La Raya. VIII Congreso Mundial sobre Camélidos. Oruro – Bolivia.
- MURRAY, R. M.; BRYANT, A. M. y LENG, R. A. 1976. Rates of production of methane in the rumen and large intestine of sheep. *British Journal of Nutrition* 36:1-14
- PATRA A. y SAXENA J. 2011. Exploitation of dietary tannins to improve rumen metabolism and ruminant nutrition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91: 24–37.
- PINARES, C.; McEWAN, J.; DODDS, K.; CARDENAS, E.; HEGARTY, R.; KOOLAARD, J. y CLARK, H. 2011. Repeatability of methane emissions from sheep. *Animal Feed Science and Technology* 166 – 167, 210 – 218.

- PINARES, P.; ULYATT, M.; WAGHORN, G.; LASSEY, K.; BARRY, T.; HOLMES, C. y JOHNSON, D. 2003. Methane emission by alpaca and sheep fed on Lucerne hay or grazed on pastures of perennial ryegrass/white clover or birdsfoot trefoil. *Journal of Agricultural Science*. 140, 215-226.
- PICCALAICO, F. N. R. 2017. Determinación de la emisión de metano producido por alpacas (*Lama pacos*) alimentadas con pastos cultivados. Tesis UNSAAC, Cusco, Perú. pp. 124.
- QUISPE, H. M. A. 2020. Influencia del día y la noche en la emisión de metano en llamas al pastoreo en época de lluvias en el centro experimental La Raya, UNSAAC, Cusco. Tesis UNSAAC, Cusco, Perú. pp. 82.
- QQUECCAÑO, M. E. 2017. Evaluación del efecto de un suplemento nutricional sobre las emisiones de metano en ovinos mejorados al pastoreo a 4313 m s.n.m. Tesis UNSAAC. Cusco, Perú. pp. 90.
- RAGGI, L. A. y CROSSLEY, J. 1990. Características del proceso digestivo en camélidos sudamericanos. Monografías de medicina veterinaria.
- REINER, R. J. y BRYANT, C. F. 1986. Botanical Composition and Nutritional Quality of Alpaca Diets in Two Andean Rangeland Communities. *Journal of Range Management* 39 (5): 424 - 427.
- RELLING, A., MATTIOLI, G., 2002. Fisiología digestiva y metabólica de los Rumiantes.
- RUBSAMEN, K. y Von ENGELHARDT, W. 1979. Morphological and functional peculiarities of the llama forestomach. *Ann Rech Vet*; 10: 473 - 475.
- SAVIA, J.; BARTH, A.; BITENCOURT de DAVIS, D.; BREMM, C.; MARINHO, R.; MORAES, T.; AZEVEDO, G.; GERE J.; McMANUS, C.; BAYER, C., y FACCIO, P. 2014. Grazing intensity and stocking methods on animal production and methane emission by grazing sheep: Implications for integrated crop-livestock system. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 190: 112 - 119.
- SAN MARTIN, F. y BRYANT, F.C. 1989. Digestibilidad comparativa entre llamas y ovinos en función de la calidad de la dieta. En: SAN MARTIN, F. y BRYANT, F.C. (eds.) Investigaciones sobre pastos y forrajes de la Texas Tech. University en Perú. Vol V.
- SAN MARTIN, F. 1994. Avances y alternativas de alimentación para los camélidos sudamericanos. Investigaciones pecuarias. Revista de investigación veterinaria del Perú (RIVEP).
- SAN MARTÍN, F. y VAN SAUN, R. 2014. Applied digestive anatomy and feeding behaviour. En: Cebra, C.; Anderson, D.; Tibary, A.; Van Saun, R. y Johnson, L. R. (eds). *Llama and alpaca care: medicine, surgery, reproduction, nutrition, and herd health*. Canada: Elsevier. p 51-58.
- STEWART C. S. y BRYANT, M.P. 1988. The rumen bacteria. In: *The Rumen Microbial Ecosystem* (Hobson PN, ed) Elsevier Applied Science, London, New York, 21-75.

- TTITO, Q. M. 2017. Uso de taninos como estrategia de mitigación para reducir las emisiones de metano en la crianza de llamas al pastoreo en el CICAS La Raya, UNSAAC, Cusco. Tesis UNSAAC. Cusco, Perú. pp. 79.
- ULYATT, M. J.; BAKER, S.K.; MCCRABB, G. J. y LASSEY, K. R. 1999. Accuracy of SF₆ tracer technology and alternatives for field measurements. Aust J Agric Res 50:1329–1334. tracer technique and by the calorimetric chamber: failure and success. Animal; 141–148.
- VAN SOEST, P. J. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. Second edition. Cornell University Press; 476 p.
- VAN SOEST, P. J. 1982. Nutritional ecology of the ruminant. Cornell University Press, Ithaca, NY, USA.
- VERNET, J.; VERMOREL, M. y JOUANY, J. P. 1997. Digestibility and energy utilisation of three diets by llamas and sheep. Ann Zootech. 46:127–137.
- WAGHORN, G.; MOLANO, G. y CAVANAGH, A. 2003. An Estimate of Whole Herd Methane Production from Cows at the Lincoln University Dairy Farm in October 2003. A report prepared for Landcare Research, New Zealand.
- WARMINGTON, B. G.; WILSON, G. F. y BARRY, T. N. 1989. Voluntary intake and digestion of ryegrass straw by llama × guanaco crossbreds and sheep. The J Agric Sci. 113:87–91.
- WEIMER, P. J. 1998. Manipulating ruminal fermentation: a microbial ecological perspective. J Anim Sci; 76: 3114 – 3122.
- WESTBERG, H.; LAMB, B.; JOHNSON, K. y HUYLER, M. 2001. Inventory of methane emissions from U.S. cattle. Journal of Geophysical Research. 106: 12633-12642.
- WOODWARD, S. L.; WAGHORN, G. C.; ULYATT, M. J. y LASSEY, K. R. 2001. Early indications that feeding *Lotus* will reduce methane emissions from ruminants. Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production 61: 23-26.
- YARANGA, C. 2009. Alimentación de camélidos sudamericanos y manejo de pastizales, Facultad de Zootecnia, UNCP.
- YOKOYAMA, M. T. y JOHNSON, K. A. 1993. Microbiología del rumen e intestino. En: Church DC. El rumiante: fisiología digestiva y nutrición. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España, 1993; 137-156.
- VIGHI, G.; MARCUCCI, F.; SENSI, L.; Di CARA, G. y FRATI, F. 2008. Allergy and the gastrointestinal system. Clin. Exp. Immunol. 153, 3–6.



La ganadería de pastoreo en la sierra sur del Perú se desarrolla en condiciones climáticas adversas que afectan la productividad de los animales, debido a la baja disponibilidad forrajera y el aporte insuficiente de nutrientes, que limitan la eficiencia de su utilización, conllevando a mayores pérdidas por ineficiencia. Este hecho estaría determinando que las emisiones de gases de efecto invernadero sean mayores, las cuales no han sido adecuadamente cuantificadas. La UNSAAC, a través de la Escuela Profesional de Zootecnia, tiene un programa de investigación que busca establecer estos efectos e implementar acciones de mitigación. Esta publicación es la primera que difunde los avances logrados hasta la fecha.

ISBN: 978-612-4121-48-7



9 786124 121487

cbc centro
bartolomé
de las casas



UNSAAC
Universidad Nacional de
San Antonio Abad del Cusco