

Requerimientos de energía metabolizable para mantenimiento y ganancia de peso de llamas y alpacas determinados mediante la técnica de sacrificio comparativo

Metabolizable energy requirements for maintenance and live weight gain of llamas and alpacas determined by the comparative slaughter technique

Bernardo Roque H.^{1,9}, José Bautista P.¹, Pablo Beltrán B.², Bilo Calsín C.³, Juan Medina S.⁴, Juan Aro A.⁵, Marcelino Aranibar A.¹, Regina Sumari M.¹, Diannett Benito L.¹, Uriel Marca C.¹, Juan Huareccallo M.¹, José Pari H.¹, José Ramírez A.⁶, Evilio Condori A.¹, Edgar Roque H.¹, Heber Chui B.⁷, César S. Pinares Patiño⁸

RESUMEN

El objetivo del estudio fue determinar los requerimientos de energía metabolizable de mantenimiento (EM_m) y ganancia de peso vivo (EM_g) de llamas y alpacas, mediante la técnica de sacrificio comparativo, a 4200 m de altitud. Se utilizaron 20 llamas machos (106.6 ± 7.7 kg de peso vivo, PV) y 20 alpacas machos (55.7 ± 4.9 kg PV), ambos grupos de 2 años de edad, divididos en 5 grupos de 4 animales por especie. Un grupo fue sacrificado al inicio del estudio para medir la energía corporal inicial, mientras que los cuatro grupos restantes fueron alimentados durante 55 días con una mezcla de heno picado de avena y alfalfa, en cuatro niveles de oferta de dieta (94.2% materia seca, MS): manteni-

¹ Laboratorio de Nutrición Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Perú

² Laboratorio de Pastos y Forrajes, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Perú

³ Instituto de Investigación y Promoción de Camélidos Sudamericanos (IIPC), Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Perú

⁴ Centro Experimental La Raya, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Perú

⁵ Departamento de Agroindustria, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Perú

⁶ Doctorado en Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Escuela de Posgrado, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Perú

⁷ Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Perú

⁸ The Agribusiness Group, Lincoln, New Zealand

⁹ E-mail: b.roque@unap.edu.pe

Recibido: 22 de septiembre de 2019

Aceptado para publicación: 12 de agosto de 2020

Publicado: 25 de noviembre de 2020

miento, intermedio bajo, intermedio alto y *ad libitum*; correspondientes a 40, 50, 60 y 70 g MS/kg PV^{0.75}, respectivamente. Todos los animales fueron sacrificados al final del experimento para determinar la retención de energía (RE). Otro grupo de 4 animales por especie acompañó en paralelo con experimentos de metabolismo convencional *in vivo*, para determinar la energía metabolizable (EM) de la dieta. Las muestras de la dieta, heces y del cuerpo animal se analizaron mediante calorimetría de bomba. El contenido de EM de la dieta fue similar entre niveles de consumo y entre especies, 2226 ± 206 y 2212 ± 165 kcal/kg MS para llamas y alpacas, respectivamente. El requerimiento de EM_m, estimado como la producción de calor en retención cero de energía, fue diferente entre especies (p<0.01), 86.4 y 82.6 kcal/kg PV^{0.75}, para llamas y alpacas, respectivamente, con las correspondientes eficiencias parciales (k_m) de 0.77 y 0.66. El requerimiento de EM_g fue 9.2 y 11.4 kcal/g de ganancia de PV, respectivamente, con sus respectivas eficiencias parciales (k_g) de 0.23 y 0.34. Se concluye que los requerimientos de EM_m de llamas y alpacas en gran altitud son independientes entre sí, y menores en aproximadamente 27% con relación a los reportados para rumiantes.

Palabras clave: alpacas, energía, llamas, requerimientos, sacrificio comparativo

ABSTRACT

The aim of this study was to determine the metabolizable energy requirements for maintenance (ME_m) and growth (ME_g) of llamas and alpacas, by the comparative slaughter technique, at 4200 m above sea level. Twenty male llamas (106.6 ± 7.7 kg live weight, LW) and 20 male alpacas (55.7 ± 4.9 kg LW), both of two years of age, were subdivided into 5 groups of 4 animals each, per species. One group was slaughtered at the beginning of the study to measure the initial body energy content, and the remaining four groups were fed over a period of 55 days on a mixture of chopped hay of oats and Lucerne at four levels of feed (94.2% dry matter, DM): maintenance, intermediate low, intermediate high and *ad libitum*; corresponding to 40, 50, 60 and 70 g DM/kg LW^{0.75}, respectively. All animals were slaughtered at the end of the experiment to determine retained energy (RE). Another group of four animals per species were used in a parallel *in vivo* metabolism study to determine the metabolizable energy (ME) content of the diet. Samples of the diet, faeces, and the animal body, were analysed for gross energy contents. The ME content of the diet did not differ between levels of feeding or species, 2226 ± 206 and 2212 ± 165 kcal/kg DM for llamas and alpacas, respectively. The requirements of ME_m estimated as heat production at zero RE differed between species (p<0.01): 86.4 and 82.6 kcal/kg LW^{0.75} for llamas and alpacas, respectively, with corresponding partial efficiencies (k_m) of 0.77 and 0.66. The requirement of ME_g was 9.2 and 11.4 kcal/g LW gain for llamas and alpacas, respectively, with corresponding partial efficiencies (k_g) of 0.23 and 0.34. It is concluded that the ME_m requirements of llamas and alpacas, at high altitude are independent from each other and about 27% lower than those reported for ruminants.

Key words: alpacas, energy, llamas, requirements, comparative slaughter

INTRODUCCIÓN

La crianza de llamas y alpacas es una actividad económica que ocupa a más de 500 mil unidades familiares de la región Andina, principalmente de Perú y Bolivia, donde en conjunto se maneja alrededor de 3.5 millones de alpacas y 3.6 millones de llamas (FAO, 2005ab), con alimentación basada en el uso de pastizales naturales de pobre disponibilidad y calidad (Reiner *et al.*, 1987; Genin *et al.*, 1994), clima adverso, con descensos térmicos de hasta $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Pinto *et al.*, 2010), obteniéndose fibra de extraordinario valor textil (Iñiguez *et al.*, 1998) y carne de alto valor nutricional (Polidori *et al.*, 2007), con bajo contenido de grasa intramuscular (Salvá *et al.*, 2009), pudiendo constituirse en fuentes alternativas de alimentos para las familias que viven en la región Altoandina (Cawthorn y Hoffman, 2014).

La nutrición de los camélidos sudamericanos cuenta con escasos reportes sobre los requerimientos energéticos; entre estos, el de Engelhardt y Schneider (1977), mediante el balance de C-N en llamas alimentadas con forrajes, estimándose un requerimiento de energía metabolizable de mantenimiento (EM_m) de $61.2\text{ kcal/kg BW}^{0.75}$, el de Carmean *et al.* (1992) por calorimetría indirecta en llamas alimentadas con heno de avena y concentrado, calculando una EM_m de $84.5\text{ kcal/kg BW}^{0.75}$, y el de Nielsen *et al.* (2014) por un método similar en llamas alimentadas con heno, obteniendo una EM_m de $77.4\text{ kcal/kg BW}^{0.75}$, siendo estos trabajos realizados en altitudes cercanas al nivel del mar.

Van Saun (2006) propuso dos modelos de requerimientos de EM_m para llamas y alpacas: Modelo I, que considera el valor promedio de los dos primeros reportes ($72.85\text{ kcal/kg BW}^{0.75}$), y Modelo II, utilizando el valor de $84.5\text{ kcal/kg BW}^{0.75}$ reportado por Carmean *et al.* (1992). Los demás requeri-

mientos energéticos (actividad física, termorregulación y otros) los estimó por extrapolación factorial a partir de datos de requerimientos energéticos de ovinos y caprinos, sugiriendo los mismos modelos para llamas y alpacas. El National Research Council incorporó la propuesta, publicando por primera vez los requerimientos nutricionales de los camélidos sudamericanos (NRC, 2007).

Los estudios comparativos realizados en contextos andinos han mostrado amplias diferencias entre llamas y alpacas en selectividad de dieta (Bryant y Farfan, 1984), consumo de alimento (Reiner *et al.*, 1987), peso vivo y ganancia de peso (García *et al.*, 2002), así como en la dinámica del nitrógeno (Robinson *et al.*, 2005). No obstante, se tiene una mayor demanda de N para alpacas que para llamas, por lo que las extrapolaciones de los requerimientos fueron puestas en duda (Davies *et al.*, 2007). Por esto se requiere realizar estudios específicos, considerando sobre todo que, en los Andes, los camélidos pueden alcanzar pesos adultos tardíamente a los 60 meses de edad (Wurzinger *et al.*, 2005).

La técnica de sacrificio comparativo es un protocolo diseñado para medir los cambios en la composición corporal de los animales durante un periodo de alimentación (Lawes y Gilbert, 1859). La técnica, luego de su desuso por un siglo, fue retomada para medir la retención de energía en el cuerpo animal (Garrett *et al.*, 1959). El proceso consiste en sacrificar un grupo representativo de animales al inicio del experimento, alimentar el resto de los animales por un periodo de tiempo y sacrificarlos al final para medir la retención de energía en sus cuerpos. La técnica se apoya en la asunción de que todos los animales tienen la misma composición corporal al inicio del experimento, por lo que su éxito radica en la habilidad de predecir con precisión la composición corporal inicial, a partir

de la composición corporal de animales similares de la misma población que son sacrificados al inicio del experimento (Blaxter, 1967).

Los estudios piloto realizados en condiciones de la zona altoandina (4200 msnm), han mostrado la posibilidad de utilizar la técnica de sacrificio comparativo como herramienta para determinar los requerimientos energéticos de alpacas, a través de las mediciones de la energía disponible en el alimento y la retención de energía, en combinación con el balance de energía (Roque, 2009). Esto permitiría mejorar los programas de alimentación en los camélidos sudamericanos, con menor impacto ambiental (Hume *et al.*, 2011).

La alimentación de llamas y alpacas en la zona altoandina se realiza en forma tradicional al pastoreo (San Martín y Bryant, 1989), sin considerar sus demandas nutricionales, obteniéndose niveles de producción relativamente bajos (Apaza y Quispe, 2016), con relación a otros contextos y sistemas (Riek y Gerken, 2007). Considerando los aspectos mencionados anteriormente, este estudio fue planeado a fin de determinar los requerimientos de energía metabolizable de mantenimiento y ganancia de peso vivo de llamas y alpacas machos en crecimiento, bajo condiciones de gran altitud, utilizando la técnica de sacrificio comparativo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El trabajo se realizó en el Centro Experimental La Raya de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, ubicado en el distrito de Santa Rosa, provincia de Melgar, departamento de Puno, Perú, entre mayo y agosto de 2016. La zona se encuentra a 4200 msnm (Puna húmeda), con una temperatura media ambiental de 10.2 ± 2.1 °C, la misma que está dentro de la zona termoneutral de la

llama (Riek *et al.*, 2017). Los análisis químicos y el procesamiento de las muestras de carnes se realizaron en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, y en el Laboratorio de Carnes del Departamento de Agroindustria de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

Animales y Alimentación

Para el experimento de sacrificio comparativo se utilizaron 20 llamas macho (106.6 ± 7.7 kg de peso vivo, PV) y 20 alpacas macho (55.7 ± 4.9 kg PV), todos de 2 años de edad, procedentes de un sistema de alimentación en pradera nativa, dominada por especies de *Festuca* y *Calamagrostis*. Un grupo de cuatro llamas (102.2 ± 11.9 kg PV) y otro de cuatro alpacas (61.3 ± 4.5 kg PV), todos machos, acompañaron con experimentos de metabolismo convencional *in vivo*, para determinar el contenido de energía metabolizable de la dieta. El acostumbramiento para el manejo en confinamiento fue gradual y sistemático (Lund *et al.*, 2012). Así, los animales consumieron la vegetación disponible en un potrero de pradera nativa durante la primera semana, heno entero de avena y alfalfa en la segunda semana, la dieta experimental ofrecida colectivamente en la tercera semana, y la dieta experimental ofrecida dentro de jaulas individuales de alimentación y jaulas metabólicas en la cuarta semana, hasta el sacrificio. El uso de animales para el estudio experimental fue autorizado por el Comité de Ética de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

La dieta experimental estuvo conformada por una mezcla (1:1) de heno de avena (*Avena sativa*) y heno de alfalfa (*Medicago sativa*). Los henos cuales fueron procesados mecánicamente con molino-picador forrajero Trapp TRF-800, a través de una zaranda de 12 mmø. A la mezcla de forrajes

Cuadro 1. Composición de la dieta experimental (94.2% de materia seca, MS)

Alimentos	%, como ofrecido	Composición de la dieta, base MS	
Heno de avena	49.8	Energía bruta, kcal/kg MS	4266.2
Heno de alfalfa	49.8	Proteína cruda, %	12.4
Suplemento mineral®	0.2	Fibra detergente neutro, %	51.6
Sal común	0.2	Carbohidratos no fibrosos, %	19.1
		Calcio, %	0.91
		Fósforo total, %	0.24
Total	100	Sodio, %	0.13

Composición del suplemento mineral: Calcio, 25%; fósforo, 16%, sodio, 2.1%.

Cuadro 2. Ecuaciones de predicción del contenido de energía corporal inicial de llamas y alpacas que continuaron con la fase de alimentación hasta el sacrificio final

Ecuación	R ²	SEM	p	Especie
$y = 2.889 (\pm 0.578)x - 104.1 (\pm 56.89)$	0.93	10.24	<0.05	Llama
$y = 2.426 (\pm 0.172)x - 38.88 (\pm 9.139)$	0.99	2.756	<0.01	Alpaca

y: energía del cuerpo vacío del animal (Mcal); x: peso vivo del animal (kg)

se le agregó una fuente mineral comercial (0.2%) y sal común (0.2%). La dieta fue formulada para contener 12% de proteína cruda en materia seca, elaborada y ofrecida a los animales para cuatro niveles de consumo: mantenimiento, intermedio bajo, intermedio alto y *ad libitum*, correspondientes a 40, 50, 60 y 70 g MS/kg PV^{0.75}, respectivamente, de la dieta tal como ofrecido, con 94.2% de materia seca (MS) (Cuadro 1). Los pesos de las dietas ofrecidas a los animales fueron registrados con una balanza digital T-Scale de 50/0.001 kg de capacidad.

Metodología

Los requerimientos de energía metabolizable de mantenimiento y ganancia se determinaron mediante la técnica de sacrificio comparativo (Lofgreen y Garrett, 1968), sujeta a la ecuación del balance de energía, $EM = PC + RE$, donde EM es la energía metabolizable consumida en la dieta, PC la producción de calor del animal, y RE la retención de energía en el cuerpo del animal después de un período de alimentación controlada.

Energía metabolizable de la dieta

La energía metabolizable de la dieta se determinó mediante experimentos de metabolismo convencional *in vivo*, por deducción de la energía bruta consumida en la dieta, las pérdidas de energía en heces, orina y gases (metano), en un diseño Cuadrado Latino 4 x 4, con cuatro animales por especie, cuatro etapas y cuatro niveles de oferta de la dieta experimental seco al aire (94.2% MS): mantenimiento, intermedio bajo, intermedio alto y *ad libitum* (40, 50, 60 y 70 g MS/kg PV^{0.75}, respectivamente). La producción de metano se determinó mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), con el analizador de gases Gasmet DX-4030 (Lassen *et al.*, 2012), en una cámara de acumulación de gases (Goopy *et al.*, 2011).

Retención de energía

La retención de energía se determinó mediante la técnica de sacrificio comparativo, con 20 animales por especie, divididos al azar en cinco grupos de cuatro animales por grupo. Luego de un periodo de alimentación con la dieta experimental, un grupo representativo de cuatro llamas y otro de cuatro alpacas fueron sacrificados mediante beneficio controlado en el camal del mismo centro experimental a fin de medir su contenido de energía corporal inicial. Los restantes cuatro grupos por especie fueron alimentados en jaulas individuales durante 55 días, en los mismos cuatro niveles de oferta de la dieta experimental seco al aire (94.2% MS), suministrada dos veces por día (08:00 y 13:00 horas). El agua se suministró a libre disposición. Los residuos de alimentos se retiraron y pesaron en forma diaria, a las 07:00 horas. El peso vivo de los animales se registró cada semana, por las mañanas, antes del suministro de la dieta, con una balanza digital de plataforma metálica de la marca T-Scale de 500/0.1 kg de capacidad.

Al final de la fase de alimentación, los cuatro grupos de animales por especie fueron sacrificados, mediante beneficio controlado en el camal del mismo centro experimental, *aplicando las buenas prácticas, con adecuación al* Reglamento Sanitario del Faenado de Animales de Abasto (MINAGRI, 2012). Se separó el cuerpo en sangre, piel (incluida fibra), cabeza y patas, vísceras rojas (corazón, pulmones, hígado, riñones y bazo), vísceras blancas (intestinos y estómago, vacíos) incluida la grasa del omento, y carcasa (incluidos los testículos), registrándose sus pesos en caliente. La sangre, piel, vísceras y carcasa (*Longissimus dorsi*) de cada animal fueron muestreadas de inmediato (en caliente) para determinar su humedad. Cada carcasa fue dividida por la línea dorsal en dos mitades y cada mitad fue empaquetada en una bolsa de polietileno, sellada y congelada a -30 °C, hasta su procesamiento.

El procesamiento consistió en separar la carcasa por disección en músculos (incluido tendones y ligamentos), grasa y huesos. Los músculos, tendones, ligamentos y grasa fueron molidos con molino Berkel (1.5 HP) y mezclados en fresco con un Cutter de 3000 rpm hasta emulsión total, obteniéndose muestras frescas de 500 g. El producto fue secado por convección a 60 °C en estufa de laboratorio Ecocell®, hasta peso constante. Los huesos también fueron secados y molidos, y estas muestras fueron mezcladas en las mismas proporciones obtenidas en la composición corporal en materia seca, determinándose su contenido de energía bruta con un calorímetro de bomba (Parr Instrument Co, USA), a una presión de 25 atmósferas de oxígeno.

La energía corporal inicial de los animales que continuaron con la fase de alimentación fue estimada por regresión lineal simple del contenido de la energía corporal total en megacalorías (Mcal) de la materia seca del cuerpo vacío, sobre el peso vivo (kg) del grupo de animales sacrificados al inicio del

experimento (Wolynetz y Sibbald, 1984), obteniéndose las ecuaciones respectivas (Cuadro 2).

La retención de energía (RE) corresponde a la diferencia entre el contenido inicial y final de energía del cuerpo de los animales (Zhao *et al.*, 2016). Los valores se expresaron con relación al peso metabólico (kcal/kg PV^{0.75}).

Estimación de la producción de calor

La producción de calor (PC) se estimó por deducción de la energía metabolizable (EM) consumida en la dieta y la retención de energía (RE) en el cuerpo animal, sujeta a la ecuación del balance de energía (PC = EM - RE), expresada por unidad de peso metabólico (kcal/kg PV^{0.75}). El requerimiento de energía metabolizable para mantenimiento se estimó por regresión lineal simple de la retención de energía sobre el consumo de energía metabolizable, como la producción de calor en retención cero de energía, dado por el intercepto x de la regresión (Marcondes *et al.*, 2013). El requerimiento de energía metabolizable para ganancia de peso vivo (EM_g) se estimó por regresión lineal simple de la energía metabolizable destinada para la ganancia de peso vivo (kcal/día) sobre la ganancia de peso corporal (g/día); para lo cual, la energía metabolizable consumida en la dieta (EM_c, kcal/día) se fraccionó en energía metabolizable destinada al mantenimiento (EM_m) y energía metabolizable destinada a la ganancia de peso vivo (EM_g). La pendiente de la ecuación corresponde al requerimiento de energía metabolizable de ganancia de peso vivo (Luo *et al.*, 2004).

Análisis Estadístico

Los datos de la energía metabolizable de la dieta se analizaron mediante el análisis de varianza en un diseño Cuadrado Latino 4 x 4 por especie, utilizando el paquete estadístico VassarStats.net de acceso libre (Senthilkumar, 2006), según el siguiente mo-

delo aditivo lineal fijo $Y_{ijk} = m + r_i + g_j + t_k + e_{ijk}$; donde Y_{ijk} es la variable dependiente; m , media general; r_i , variación entre etapas (filas); g_j , variación entre animales (columnas); t_k , variación entre niveles de consumo (tratamientos); e_{ijk} , variación entre observaciones (error).

La producción de calor de los animales en retención cero de energía se estimó por regresión lineal simple y su análisis de varianza (Kumari y Yadav, 2018), cuyos parámetros se analizaron mediante la prueba t , sujeto al siguiente modelo: $Y_{ij} = b_0 + b_1 X + e_{ij}$; donde Y_{ij} , variable dependiente; X , variable independiente; b_0 , intercepto de la regresión; b_1 , pendiente de la regresión; y e_{ij} , error de la regresión. Todos los análisis se realizaron a un nivel de significancia de 5% ($\alpha=0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Energía Metabolizable de la Dieta

El consumo de materia seca de la dieta incrementó en relación directa con el nivel de consumo, tanto en llamas como en alpacas ($p < 0.01$). Los consumos máximos de materia seca registrados en llamas y alpacas alimentadas en el nivel *ad libitum* fueron de 1.968 kg/día y 1.211 kg/día (Cuadro 3), los mismos que corresponden a 1.87 y 1.92% del peso vivo, respectivamente. Ninguna llama ni alpaca logró consumir la cantidad prevista de alimento para consumo *ad libitum*. Estos resultados están en acuerdo con los reportes de consumo para llamas y alpacas alimentados con forrajes (San Martín y Bryant, 1989).

La digestibilidad de la materia seca del alimento fue similar entre niveles de consumo y entre especies, con un promedio de $60.9 \pm 4.6\%$ en llamas y $61.4 \pm 3.9\%$ en alpacas (Cuadro 3), los mismos que están en el rango de valores reportados para los distintos forrajes evaluados en llamas y alpacas (San Martín y Bryant, 1989).

Cuadro 3. Energía metabolizable de la dieta en llamas y alpacas macho de dos años, en experimento de metabolismo convencional *in vivo*, con cuatro niveles de oferta de dieta (g MS/kg PV^{0.75})

Variables de medición	Dieta ofrecida (g MS/kg PV ^{0.75}) (Materia seca [MS] 94.2%)				SEM	<i>p</i>
	40	50	60	70		
Llamas						
Peso vivo promedio, kg	99.2	101.0	104.2	105.0	2.985	0.9079
Materia seca consumida, kg/día	1.197 ^d	1.414 ^c	1.770 ^b	1.968 ^a	0.098	0.0074
Digestibilidad de materia seca, %	60.8	59.1	59.8	63.9	1.158	0.5174
Energía consumida en dieta, kcal/día	5127 ^d	6056 ^c	7580 ^b	8427 ^a	422.0	0.0074
Energía excretada en heces, kcal/día	2098	2609	3215	3254	206.1	0.1396
Energía excretada en orina, kcal/día	46.7	50.6	59.5	55.1	3.324	0.6037
Energía emitida en gases, kcal/día	348.9 ^d	391.0 ^c	442.6 ^b	505.0 ^a	18.82	0.0052
Energía digestible (ED), kcal/kg MS	2549	2456	2482	2644	52.89	0.6393
Energía metabolizable (EM), kcal/kg MS	2218	2133	2196	2358	51.39	0.5075
Relación EM:ED	0.869	0.868	0.885	0.892	0.005	0.1818
Alpacas						
Peso vivo promedio, kg	59.9	60.2	62.1	63.2	1.065	0.7022
Materia seca consumida, kg/día	0.792 ^d	0.883 ^c	1.010 ^b	1.211 ^a	0.063	0.0078
Digestibilidad de materia seca, %	61.9	63.0	60.1	60.5	0.970	0.7420
Energía consumida en dieta, kcal/día	3391 ^d	3781 ^c	4326 ^b	5188 ^a	268.3	0.0078
Energía excretada en heces, kcal/día	1341	1448	1838	2174	125.1	0.0511
Energía excretada en orina, kcal/día	33.8	34.4	31.7	41.7	2.608	0.5980
Energía emitida en gases, kcal/día	218.0 ^c	291.0 ^b	295.3 ^{ab}	300.6 ^a	12.74	0.0489
Energía digestible (ED), kcal/kg MS	2589	2632	2482	2471	43.21	0.5124
Energía metabolizable (EM), kcal/kg MS	2271	2259	2199	2118	41.17	0.5810
Relación EM:ED	0.878	0.858	0.885	0.857	0.006	0.3383

^{a,b,c,d} Letras diferentes dentro de filas indican diferencia significativa ($p < 0.05$)

El consumo de energía bruta (EB) en la dieta estuvo en relación directa con el nivel de consumo de materia seca ($p < 0.01$). La excreción de energía en las heces mantuvo la misma tendencia que el consumo de EB en la dieta. La excreción de energía en la orina

fue similar entre los niveles de consumo, en una proporción $< 1\%$ de la EB consumida en la dieta, en ambas especies, concordante con los reportes para llamas y alpacas (Robinson *et al.*, 2005; Davies *et al.*, 2007).

Las pérdidas absolutas de energía en gas metano incrementaron en relación directa con el nivel de consumo, en ambas especies ($p < 0.05$), donde las llamas eliminaron más metano que las alpacas ($p < 0.01$); sin embargo, las pérdidas relativas fueron similares entre niveles de consumo y entre especies, con un valor promedio de $6.36 \pm 0.99\%$ de la energía bruta consumida en llamas y $6.88 \pm 1.55\%$ en alpacas. Estos valores están en el rango de emisiones de metano reportado para alpacas (Pinares-Patiño *et al.*, 2003), alpacas, llamas y camellos (Dittmann *et al.*, 2014), así como vacunos, ovinos y caprinos (Johnson y Ward, 1996).

La energía metabolizable de la dieta fue prácticamente similar entre llamas y alpacas, con un promedio de 2226 ± 206 kcal/kg y 2212 ± 165 kcal/kg de materia seca, respectivamente. Estos resultados son similares al valor reportado para llamas alimentadas con dieta de heno de avena y concentrado peletizado (Carmean *et al.*, 1992).

La relación entre la energía metabolizable y la energía digestible (EM:ED) fue similar entre los niveles de consumo de la dieta y entre especies de animales (Cuadro 3), con un valor promedio de 0.878 ± 0.018 para llamas y 0.870 ± 0.026 para alpacas, las mismas que son mayores al valor reportado para vacunos (Sundstøl, 1993) y ovinos (Armstrong, 1964), pero similares a los valores para cabras (Teixeira *et al.*, 2019).

Requerimientos de Energía Metabolizable de Mantenimiento

Retención de energía

Los animales iniciaron la fase de alimentación del experimento de sacrificio comparativo con pesos similares entre grupos, tanto en llamas como en alpacas, pero finalizaron con pesos diferentes ($p < 0.05$), con ganancias de peso en relación directa con el nivel de consumo de la dieta. Algunos animales alimentados en el nivel de mantenimiento per-

dieron peso, mientras que todos los animales de los demás niveles ganaron peso, con la mayor ganancia en el nivel *ad libitum* (Cuadro 4). La retención de energía mantuvo la misma relación con el nivel de consumo de la dieta ($p < 0.01$).

La regresión lineal simple de la retención de energía (kcal/kg $PV^{0.75}$) sobre el consumo de energía metabolizable (kcal/kg $PV^{0.75}$), generó las siguientes ecuaciones (Figuras 1 y 2):

$$RE = 0.2264 (\pm 0.0132) EM - 19.564 (\pm 1.520), R^2 0.9543 \text{ (Ec.1) llamas}$$

$$RE = 0.3378 (\pm 0.0121) EM - 27.921 (\pm 1.328); R^2 0.9824 \text{ (Ec.2) alpacas}$$

Las regresiones fueron significativas ($p < 0.01$), tanto para llamas como para alpacas, con elevadas bondades de ajuste ($R^2 > 0.95$). Las pendientes de las regresiones corresponden a las eficiencias de uso de la energía metabolizable para la retención o ganancia, siendo $k_g = 0.2264$ para llamas y $k_g = 0.3378$ para alpacas, las mismas que son relativamente bajas con relación a las de otras especies de rumiantes (Regadas *et al.*, 2011). Las diferencias, $k_m = 0.7736$ para llamas y $k_m = 0.6622$ para alpacas, expresan las eficiencias parciales de uso de la energía metabolizable para la producción de calor por encima del mantenimiento, las mismas que están en los rangos de eficiencia de uso de EM para mantenimiento y ganancia reportados para experimentos de sacrificio comparativo (Johnson *et al.*, 2003).

Producción de calor

La producción de calor varió también en relación directa con el consumo de energía metabolizable ($p < 0.01$), desde 83.51 kcal/kg $PV^{0.75}$ en el nivel de mantenimiento hasta 128.12 kcal/kg $PV^{0.75}$ en el nivel *ad libitum* en llamas; y desde 83.13 kcal/kg $PV^{0.75}$ hasta 109.71 kcal/kg $PV^{0.75}$, respectivamente, en alpacas (Cuadro 4). Estos resultados evidencian que las llamas y las alpacas producen calor en forma activa para mantener su temperatura corporal relativamente estable a fin

Cuadro 4. Retención de energía en llamas y alpacas machos de dos años, en experimento de sacrificio comparativo, con cuatro niveles de oferta de dieta (g MS/kg PV^{0.75}). Periodo de alimentación de 55 días (n = 4 animales por grupo)

Variables de medición	Dieta ofrecida (g MS/kg PV ^{0.75}) (Materia seca [MS] 94.2%)				SEM	p
	40	50	60	70		
Llamas						
Peso inicial, kg	100.6	104.0	108.2	113.6	1.933	0.0810
Peso final, kg	99.2	105.6	114.9	120.8	2.774	0.0110
Ganancia de peso, g/día	-25.4 ^d	29.1 ^c	121.8 ^b	130.0 ^a	18.93	<.0010
Consumo de materia seca, g/kgPV ^{0.75}	37.4 ^d	46.6 ^c	55.3 ^b	63.2 ^a	2.499	<.0001
Consumo de EM, kcal/kgPV ^{0.75}	83.16 ^d	103.85 ^c	123.12 ^b	140.56 ^a	5.554	<.0001
Retención de energía, kcal/kgPV ^{0.75}	-0.35 ^d	2.98 ^c	8.71 ^b	12.44 ^a	1.288	<.0001
Producción de calor, kcal/kgPV ^{0.75}	83.51 ^c	100.87 ^b	114.42 ^a	128.12 ^a	4.308	<.0001
Alpacas						
Peso inicial, kg	52.2	53.8	57.2	59.5	1.215	0.1228
Peso final, kg	51.3	54.8	59.6	62.1	1.452	0.0176
Ganancia de peso vivo, g/día	-14.6 ^c	16.4 ^b	43.6 ^a	47.8 ^a	7.364	<.0010
Consumo de materia seca, g/kgPV ^{0.75}	37.5 ^c	46.5 ^b	55.9 ^a	56.4 ^a	2.004	<.0001
Consumo de EM, kcal/kgPV ^{0.75}	82.98 ^c	102.88 ^b	123.70 ^a	124.64 ^a	4.427	<.0001
Retención de energía, kcal/kgPV ^{0.75}	-0.14 ^d	7.33 ^c	12.85 ^b	14.93 ^a	1.509	<.0001
Producción de calor, kcal/kgPV ^{0.75}	83.13 ^c	95.55 ^b	110.85 ^a	109.71 ^a	2.939	<.0001

^{a,b,c,d} Letras diferentes dentro de filas indican diferencia significativa.

EM: energía metabolizable

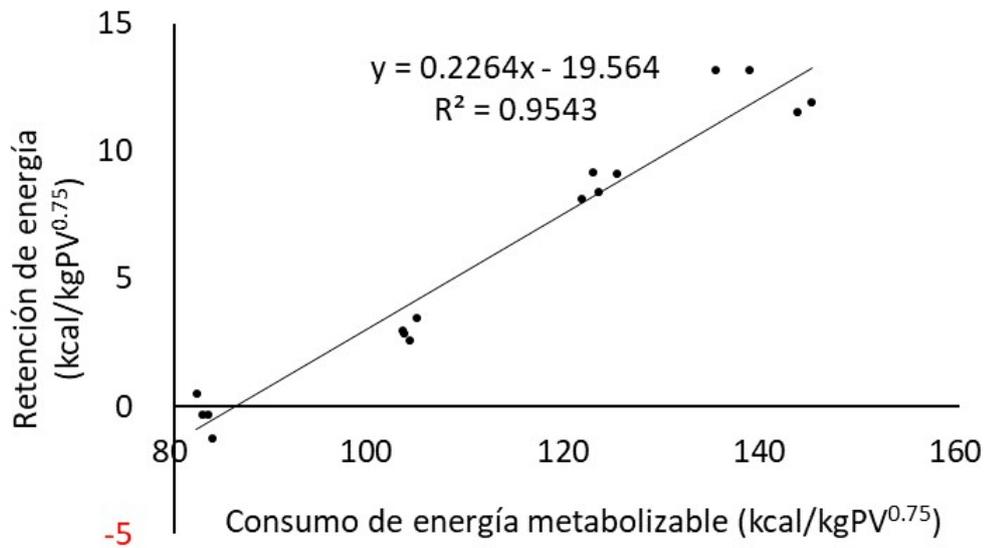


Figura 1. Regresión de la retención de energía (RE) sobre el consumo de energía metabolizable (EM) en llamas macho de dos años (período de alimentación: 55 días; n = 4 animales por grupo)

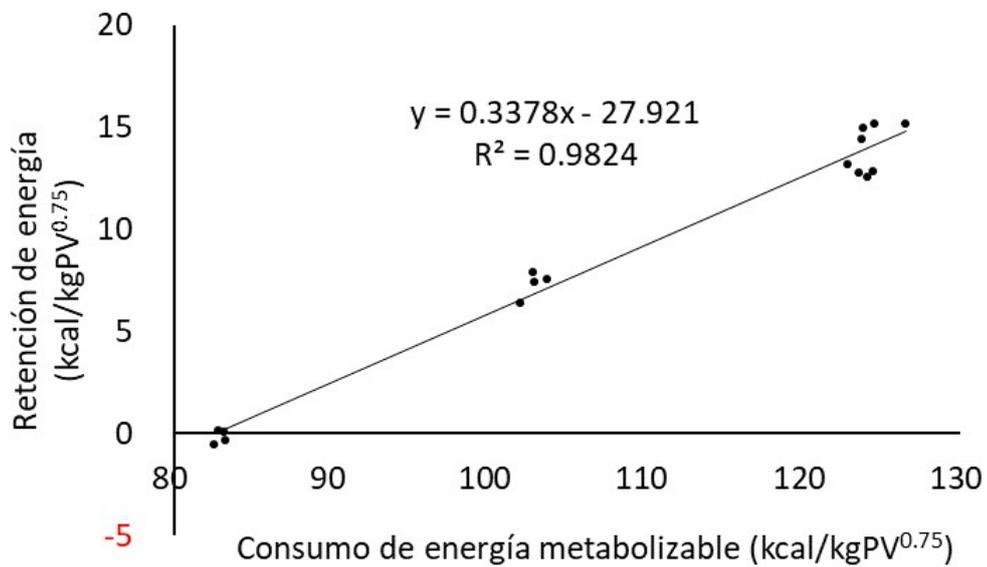


Figura 2. Regresión de la retención de energía (RE) sobre el consumo de energía metabolizable (EM) en alpacas macho de dos años (período de alimentación: 55 días; n = 4 animales por grupo)

de hacer frente a la adversidad térmica de la gran altitud (Riek *et al.*, 2019). La cobertura de fibra es una ventaja que posibilita a estas especies realizar la termorregulación y mantener la homeotermia; sin embargo, esa capacidad puede verse alterada por la práctica de la esquila, incrementando su demanda de energía para la producción de calor (Gerken, 2009).

Al respecto, los reportes sobre la termorregulación en camélidos que viven en las grandes altitudes muestran datos sorprendentes sobre sus habilidades para el manejo de las condiciones térmicas adversas del medio ambiente. Los camélidos tienen ventanas térmicas que les permiten modular la disipación de calor (Gerken, 2009), por lo que los animales amanecen con temperaturas bajas y atardecen con temperaturas altas, con un gasto de energía notablemente bajo con relación a otros herbívoros (Riek *et al.*, 2019). Es posible que la llama se comporte como el camello dromedario, especie que alterna periodos de homeotermia y poiquilotermia (Bouâouda *et al.*, 2014), con una temperatura corporal que puede variar desde 34 °C al amanecer hasta 41 °C al atardecer (Gaughan, 2011), haciéndolo diferente al ovino (daSilva y Minomo, 1995) y al bovino (Gaughan *et al.*, 2010), cuando las condiciones térmicas son adversas. Existe limitada información sobre estos aspectos relacionados a la termorregulación y a la actividad física en camélidos sudamericanos, las mismas que son los componentes adicionales necesarios para realizar los ajustes de los requerimientos energéticos de mantenimiento.

A partir de las ecuaciones de regresión (Ec. 1 y 2), en retención cero de energía (RE = 0), la energía metabolizable (EM) resulta del cociente entre el intercepto y la pendiente de la ecuación, 0 corresponde al intercepto X de la ecuación, cuyo valor es 86.4 para llamas y 82.6 para alpacas. La ecuación del balance de energía indica también que en retención cero de energía, la energía meta-

bolizable es igual a la producción de calor, $EM = PC + 0$ (Derno *et al.*, 2005), siendo por tanto este valor el requerimiento de energía metabolizable de mantenimiento (EM_m), expresado por las siguientes ecuaciones:

$$EM_m, \text{ kcal/día} = 86.4 \text{ kcal/kg PV}^{0.75} \text{ (Ec. 3)}$$

llamas

$$EM_m, \text{ kcal/día} = 82.6 \text{ kcal/kg PV}^{0.75} \text{ (Ec. 4)}$$

alpacas

Los resultados son similares al valor reportado para llamas (Carmean *et al.*, 1992), pero mayores que los reportados por Engelhardt y Schneider (1977) y Nielsen *et al.* (2014); y menores en aproximadamente 27% a los requerimientos de mantenimiento de las otras especies de rumiantes, tales como vacunos (Valente *et al.*, 2013); ovinos (Zhao *et al.*, 2016) y caprinos (Resende *et al.*, 2018), evidenciando que las llamas y las alpacas tienen tasas metabólicas basales mucho más bajas y requerimientos de energía metabolizable de mantenimiento excepcionalmente bajos (Riek *et al.*, 2019).

Las llamas alimentadas en nivel *ad libitum* alcanzaron hasta 120 kg de peso vivo, mientras que las alpacas hasta 60 kg de peso vivo. A partir de los valores encontrados (Ec. 3 y 4), sus demandas de energía metabolizable corresponden a 3133 kcal/día y 1781 kcal/día, respectivamente. Dado que el contenido de energía metabolizable de la dieta fue de 2.226 kcal/g de materia seca para llamas y 2.212 kcal/g para alpacas, las cantidades mínimas estimadas de materia seca necesarias para mantener la vida de estos animales son de 38.8 g/kgPV^{0.75} y 37.3 g/kgPV^{0.75}, respectivamente, considerando una dieta conformada por una mezcla de heno de avena y heno de alfalfa, procesados mecánicamente. Las cantidades pueden variar con un cambio en la dieta, puesto que la especie de planta en la dieta tiene efecto sobre la composición química y el valor energético de la dieta (Uslu *et al.*, 2018).

La otra forma de energía para mantenimiento corresponde a la producción de calor en consumo cero de alimento, conocida como producción de calor en ayuno (PCA), la misma que expresa el requerimiento de energía neta de mantenimiento (EN_m). El valor depende de la eficiencia (k_m) de uso de la energía metabolizable para la producción de calor, $PCA = k_m \times EM_m$ (Garrett, 1980). Las ecuaciones (Ec. 1 y 2) evidencian un valor k_m , 0.7736 para llamas y 0.6622 para alpacas, por lo que EN_m está dada por las siguientes ecuaciones:

$$EN_m, \text{ kcal/día} = 66.8 \text{ kcal/kgPV}^{0.75} \text{ (Ec. 5) llamas}$$

$$EN_m, \text{ kcal/día} = 54.7 \text{ kcal/kgPV}^{0.75} \text{ (Ec. 6) alpacas}$$

Los valores son similares a los obtenidos para llamas por Carmean *et al.* (1992) y Nielsen *et al.* (2014); sin embargo, son relativamente más bajos que los reportados para las otras especies de rumiantes, tales como vacunos (Valente *et al.*, 2013), ovinos (Zhao *et al.*, 2016) y caprinos (Resende *et al.*, 2018), evidenciando la menor demanda de energía de estos camélidos, quizá como un mecanismo de evolución y adaptación a las condiciones térmicas adversas de la gran altitud (Wu *et al.*, 2014).

Requerimientos de Energía Metabolizable de Ganancia de Peso

La ganancia de peso vivo de los animales fue diferente entre niveles de alimentación, tanto en llamas como en alpacas ($p < 0.01$), incrementando en una relación directa con el nivel de consumo. Los grupos alimentados en nivel próximo al mantenimiento perdieron peso, mientras que los alimentados en niveles mayores ganaron peso, con la mayor ganancia en el nivel *ad libitum*. La retención de energía mostró la misma tendencia (Cuadro 4). A partir de la ecuación del balance de energía, la diferencia entre la energía consumida en el alimento y la energía utilizada para el mantenimiento corresponde a la energía destinada para la ganancia de peso.

La regresión lineal de la energía retenida (kcal/día) sobre la ganancia de peso (g/día), generó las siguientes ecuaciones:

$$y = 9.2x + 339, (R^2 0.763) \text{ (Ec.7) para llamas}$$

$$y = 11.4x + 277, (R^2 0.768) \text{ (Ec. 8) para alpacas}$$

donde: y , energía metabolizable requerida para la ganancia de peso (kcal/día); x , ganancia de peso de los animales (g/día).

Las regresiones fueron significativas ($p < 0.01$), con elevadas bondades de ajuste ($R^2 > 0.75$). La pendiente de la regresión expresa la contribución de la variable independiente x en el cambio de la variable dependiente y ; es decir, el incremento que se produce en la variable y cuando la variable x aumenta en una unidad (Schneider *et al.*, 2010). En el presente caso, se requieren 9.2 kcal de energía metabolizable por cada gramo de ganancia de peso vivo en llamas, y 11.4 kcal en alpacas. Estos resultados son mucho mayores a los valores reportados para ovinos, caprinos y vacunos (Salah *et al.*, 2014), indicando que las llamas y alpacas alimentadas con dietas de forrajes utilizan mayores cantidades de energía metabolizable por cada unidad de ganancia de peso vivo, evidenciando su menor eficiencia para convertir la energía del alimento en carne, con relación al ovino productor de carne (Zhao *et al.*, 2016).

Es posible que cualquier cambio en la alimentación o el manejo de los animales pueda hacer variar los valores de la pendiente de la regresión, puesto que el tipo de alimento y el sistema de manejo juegan roles importantes en la ganancia de peso de los animales rumiantes (Xu *et al.*, 2017). Así por ejemplo, a 4200 m de altitud, donde la temperatura del aire varía desde -5°C (junio) hasta 14°C (noviembre), las mayores ganancias de peso se observan en llamas de dos años en la época lluviosa y con pastos cultivados (García *et al.*, 2002).

La condición ambiental es el otro factor que puede alterar también la pendiente de las ecuaciones, dado que está estrechamente relacionada con el mantenimiento. Los modelos de crecimiento para llamas en los distintos contextos evidencian amplias diferencias en peso al nacimiento y peso adulto de los animales. Los datos extraídos para efectos comparativos, desde el nacimiento hasta los siete meses de edad, muestran pesos menores para animales de puna seca (Canaza-Cayo *et al.*, 2015), mayores para los de puna húmeda (Apaza y Quispe, 2016), y mucho mayores para animales de altitudes cercanas al nivel del mar (Smith *et al.*, 1992), evidenciando los efectos que tiene la relación entre las demandas de energía y el consumo de alimentos, siendo este último el factor clave para el rendimiento animal (Zereu, 2016), debido a que define la retención de energía (Murray, 1991), cuyas consecuencias se manifiestan en el balance de energía y la condición corporal, con estados de caquexia en ámbitos de gran altitud y obesidad en espacios de baja altitud (Van Saun, 2006).

La actividad física también puede alterar la referida pendiente de las ecuaciones, puesto que esta función consume buena parte de la energía metabolizable, pudiendo ser de 25 a 100% mayor que en animales en confinamiento (Shinde y Karim, 2007); sin embargo, este aspecto no fue considerado en el análisis, puesto que los animales estuvieron en confinamiento, con mínima actividad física.

Finalmente, el contraste de las regresiones de la retención de energía sobre el consumo de energía metabolizable entre llamas y alpacas fue significativamente diferente ($p < 0.01$), indicando que los requerimientos energéticos derivados de estas ecuaciones son independientes.

CONCLUSIONES

El requerimiento de energía metabolizable de mantenimiento (EMm) fue diferente

entre especies, 86.4 kcal/kg PV0.75 y 82.6 kcal/kg PV0.75, para llamas y alpacas, respectivamente, con sus correspondientes eficiencias parciales (km) de 0.77 y 0.66. El requerimiento de energía metabolizable de ganancia de peso (EMg) fue de 9.2 y 11.4 kcal/g de ganancia de peso vivo, con sus eficiencias parciales (kg) de 0.23 y 0.34, respectivamente. Se concluye que los requerimientos de EMm de llamas y alpacas en gran altitud son independientes entre sí, y menores en aproximadamente 27% con relación a los reportados para rumiantes.

Agradecimiento

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno (UNA-Puno), Perú, por el financiamiento de la investigación, modalidad interdisciplinaria, Contrato N.º 01-003-2015.OGAJ-UNA-PUNO. Al personal del Centro Experimental La Raya de la UNA-Puno, por su apoyo en la fase experimental de campo, y al personal de los laboratorios.

LITERATURA CITADA

1. **Apaza E, Quispe JE. 2016.** Pesos, ganancia de peso y modelos de crecimiento en crías de llamas (*Lama glama*) K'ara y ch'aco. Rev Investig Altoandinas 18: 179-188. doi: 10.18271/ria.2016.198
2. **Armstrong DG. 1964.** Evaluation of artificially dried grass as a source of energy for sheep. II. The energy value of cocksfoot, timothy and two strains of rye-grass at varying stages of maturity. J Agric Sci 62: 399-416. doi: 10.1017/S0021859600042507
3. **Blaxter KL. 1967.** Nutrition balance techniques and their limitations: techniques in energy metabolism studies and their limitations. Proc Nutr Society 26: 86-96. doi: 10.1079/pns19670016.

4. **Bouâouda H, Achâaban MR, Ouassat M, Oukassou M, Piro M, Challet E, Pévet P. 2014.** Daily regulation of body temperature rhythm in the camel (*Camelus dromedarius*) exposed to experimental desert conditions. *Physiol Rep* 2: e12151. doi: 10.14814/phy2.12151
5. **Bryant FC, Farfan RD. 1984.** Dry season forage selection by alpaca (*Lama pacos*) in Southern Peru. *J Range Manag* 37: 330-333.
6. **Canaza-Cayo AW, Huanca T, Gutiérrez JP, Beltrán PA. 2015.** Modeling of growth curves and estimation of genetic parameters for growth curve parameters in Peruvian young llamas (*Lama glama*). *Small Ruminant Res* 130: 81-89. doi: 10.1016/j.smallrumres.2015.01.026
7. **Carmean BR, Johnson KA, Johnson DE, Johnson LW. 1992.** Maintenance energy requirement of llamas. *Am J Vet Res* 53: 696-698.
8. **Cawthorn DM, Hoffman LC. 2014.** The role of traditional and non-traditional meat animals in feeding a growing and evolving world. *Animal Frontiers* 4: 6-12. doi: 10.2527/af.2014-0027
9. **daSilva RG, Minomo FR. 1995.** Circadian and seasonal variation of the body temperature of sheep in a tropical environment. *Int J Biometeorol* 39: 69-73. doi: 10.1007/BF01212583
10. **Davies HL, Robinson TF, Roeder BL, Sharp ME, Johnston NP, Christensen AC, Schaalje GB. 2007.** Digestibility, nitrogen balance, and blood metabolites in llama (*Lama glama*) and alpaca (*Lama pacos*) fed barley or barley alfalfa diets. *Small Ruminant Res* 73: 1-7. doi: 10.1016/j.smallrumres.2006.10.006
11. **Derno M, Jentsch W, Schweigel M, Kuhla S, Metges CC, Matthes HD. 2005.** Measurements of heat production for estimation of maintenance energy requirements of Hereford steers. *J Anim Sci* 83: 2590-2597. doi:10.2527/2005.83112590x
12. **Dittmann MT, Runge U, Lang RA, Moser D, Galeffi C, Kreuzer M, Clauss M. 2014.** Methane emission by camelids. *Plos One* 9: e94363. doi: 10.1371/journal.pone.0094363
13. **Engelhardt W, Schneider W. 1977.** Energy and nitrogen metabolism in the llama. *Anim Res Dev* 5: 68-72.
14. **[FAO] Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2005a.** Situación actual de los camélidos sudamericanos en Perú. [Internet]. Disponible en: https://tarwi.lamolina.edu.pe/~emellisho/zootecnia_archivos/situacion%20alpcas%20peru.pdf
15. **[FAO] Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2005b.** Situación actual de los camélidos sudamericanos en Bolivia. [Internet]. Disponible en: http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/animal/paises/pdf/2914bol.pdf
16. **García W, San Martín F, Novoa C, Franco E. 2002.** Engorde de llamas bajo diferentes regímenes alimenticios. *Rev Inv Vet Perú* 13: 1-9. doi: 10.15381/rivep.v13i2.7246
17. **Garrett N, Meyer JH, Lofgreen GP. 1959.** The comparative energy requirement of sheep and cattle for maintenance and gain. *J Anim Sci* 18: 528-547. doi: /10.2527/jas1959.182528x
18. **Garrett WN. 1980.** Factors influencing energetic efficiency of beef production. *J Anim Sci* 51: 1434-1440. doi: 10.2527/jas1981.5161434x
19. **Gaughan JB, Bonner S, Loxton I, Mader TL, Lisle A, Lawrence R. 2010.** Effect of shade on body temperature and performance of feedlot steers. *J Anim Sci* 88: 4056-4067. doi:10.2527/jas.2010-2987
20. **Gaughan JB. 2011.** Which physiological adaptation allows camels to tolerate high heat load – and what more can we learn? *J Camelid Sci* 4: 85-88.

21. **Genin D, Villca Z, Abasto P. 1994.** Diet selection and utilization by llama and sheep in a high altitude-arid rangeland of Bolivia. *J Range Manage* 47: 245-248. doi: 10.2307/4003025
22. **Gerken M. 2009.** Relationships between integumental characteristics and thermoregulation in South American camelids. *Animal* 4: 1451-1459. doi: 10.1017/S1751731109991443
23. **Goopy JP, Woodgate R, Donaldson A, Robinson DL, Hegarty RS. 2011.** Validation of a short-term methane measurement using portable static chambers to estimate daily methane production in sheep. *Anim Feed Sci Technol* 166: 219-226. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2011.04.012
24. **Hume D, Whitelaw C, Archibald A. 2011.** The future of animal production: improving productivity and sustainability. *J Agric Sci* 149(Suppl 1): 9-16. doi: 10.1017/S0021859610001188
25. **Iñiguez LC, Alem R, Wauer A, Mueller J. 1998.** Fleece types, fiber characteristics and production system of an outstanding llama population from Southern Bolivia. *Small Ruminant Res* 30: 57-65. doi: 10.1016/S0921-4488(98)-00079-0
26. **Johnson DE, Ferrell CL, Jenkins TG. 2003.** The history of energetic efficiency research: where have we been and where are we going? *J Anim Sci* 81: E27-E38. doi: 10.2527/2003.8113_suppl_1E27x
27. **Johnson DE, Ward GM. 1996.** Estimates of animal methane emissions. *Environ Monit Assess* 42: 133-141. doi: 10.1007/BF00394046
28. **Kumari K, Yadav S. 2018.** Linear regression analysis study. *J Pract Cardiovasc Sci* 4: 33-36. doi: 10.4103/jpcs.-jpcs_8_18
29. **Lassen J, Løvendahl P, Madsen J. 2012.** Accuracy of noninvasive breath methane measurements using Fourier transform infrared methods on individual cows. *J Dairy Sci* 95: 890-898. doi: 10.3168/jds.2011-4544
30. **Lawes JB, Gilbert JH. 1859.** Experimental inquiry into the composition of some of the animals fed and slaughtered as human food. *Philos Trans R Soc Lond* 149: 493-680. doi: 10.1098/rsp1.1857.0086
31. **Lofgreen GP, Garrett WN. 1968.** A system for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing beef cattle. *J Anim Sci* 27: 793-806. doi: 10.2527/jas1968.-273793x
32. **Lund KE, Maloney SK, Milton JT, Blache D. 2012.** Gradual training of alpacas to the confinement of metabolism pens reduces stress when normal excretion behavior is accommodated. *ILAR J* 53: E22 E30. doi:10.1093/ilar.53.1.22
33. **Luo J, Goetsch AL, Nsahlai IV, Johnson ZB, Sahlu T, Moore JE, Owens FN. 2004.** Maintenance energy requirements of goats: predictions based on observations of heat and recovered energy. *Small Ruminant Res* 53: 221-230. doi: 10.1016/j.smallrumres.2004.04.009
34. **Marcondes MI, Tedeschi LO, Valadares Filho SC, Gionbelli MP. 2013.** Predicting efficiency of use of metabolizable energy to net energy for gain and maintenance of Nellore cattle. *J Anim Sci* 91: 4887-4898. doi:10.2527/jas.2011-4051
35. **[MINAGRI] Ministerio de Agricultura y Riego. 2012.** Decreto Supremo N° 015-2012-AG: Reglamento Sanitario del Faenado de Animales de Abasto. Lima. [Internet]. Disponible en: https://www.senasa.gob.pe/senasa/descargas-archivos/2014/11/DS_015_2012_AG-REGLAMENTO-SANITARIO-DEL-FAENADO-DE-ANIMALES-DE-ABASTO.pdf
36. **Murray MG. 1991.** Maximizing energy retention in grazing ruminants. *J Anim Ecol* 60: 1029-1045. doi: 10.2307/5429
37. **Nielsen MO, Kiani A, Tejada E, Chwalibog A, Alstrup L. 2014.** Energy metabolism and methane production in llamas, sheep and goats fed high- and low-quality grass-based diets. *Arch Anim*

- Nutr 68: 171-185. doi:10.1080/17450-39X.2014.912039
38. **[NRC] National Research Council. 2007.** Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and New World camelids. Washington DC: The National Academies Press.
 39. **Pinares-Patiño CS, Ulyatt MJ, Waghorn GC, Lassey KR, Barry TN, Holmes CW, Johnson DE. 2003.** Methane emission by alpaca and sheep fed on lucerne hay or grazed on pastures of perennial ryegrass/white clover or birdsfoot trefoil. *J Agric Sci* 140: 215-226. doi:10.1017/S002185960300306X
 40. **Pinto CE, Martín C, Cid MD. 2010.** Camélidos sudamericanos: clasificación, origen y características. *Rev Complutense Cienc Vet* 4: 23-36.
 41. **Polidori P, Renieri C, Antonini M, Lebboroni G. 2007.** Llama meat nutritional properties. *Ital J Anim Sci* 6(Suppl 1): 857-858. doi: 10.4081/ijas.2007.-1s.857
 42. **Regadas JG, Pereira ES, Villarroel AB, Pimentel P, Fontenele RM, Ferreira MR, Sombra W. 2011.** Efficiency of metabolizable energy utilization for maintenance and gain and evaluation of Small Ruminant Nutrition System model in Santa Ines sheep. *R Bras Zootec* 40: 2558-2564. doi: 10.1590/S1516-35982011001100038
 43. **Reiner RJ, Bryant FC, Farfan RD, Craddock BF. 1987.** Forage intake of alpacas grazing Andean rangeland in Peru. *J Anim Sci* 64: 868-871. doi: 10.2527/jas1987.643868x
 44. **Resende KT, Ribeiro SD, Almeida AK, Rodrigues M, Garcia JA, Teixeira IA. 2018.** Energy and protein requirements during the growing phase of indigenous goats. *Zootecnia* 39: 241-252. doi: 10.5433/1679-0359.2018v39n1p241
 45. **Riek A, Brinkmann L, Gauly M, Perica J, Ruf T, Arnold W, Gerken M. 2017.** Seasonal changes in energy expenditure, body temperature and activity patterns in llamas (*Lama glama*). *Sci Rep* 7: 1-12. doi:10.1038/s41598-017-07946-7
 46. **Riek A, Gerken M. 2007.** Measurements of the bodyweight and other physical characteristics of 11 llamas (*Lama glama*) from birth to weaning. *Vet Rec* 161: 520-524. doi: 10.1136/vr.161.15.520
 47. **Riek A, Stölzl A, Bernedo R, Ruf T, Arnold W, Hambly C, Gerken M. 2019.** Energy expenditure and body temperature variations in llamas living in the High Andes of Peru. *Sci Rep* 9: 4037. doi: 10.1038/s41598-019-40576-9
 48. **Robinson TF, Roeder B, Schaalje G, Hammer J, Burton S, Christensen M. 2005.** Nitrogen balance and blood metabolites of alpaca (*Lama pacos*) fed three forages of different protein content. *Small Ruminant Res* 58: 123-133. doi: 10.1016/j.smallrumres.2004.09.005
 49. **Roque B. 2009.** Determinación de los requerimientos energéticos de mantenimiento y ganancia de peso de alpacas (*Vicugna pacos*) en crecimiento mediante la técnica de sacrificio comparativo. Tesis Doctoral. Lima, Perú: Univ. Nacional Agraria La Molina. 152 p.
 50. **Salah N, Sauviant D, Archimède H. 2014.** Nutritional requirements of sheep, goats and cattle in warm climates: a meta-analysis. *Animal* 8: 1439-1447. doi: 10.1017/S1751731114001153
 51. **Salvá BK, Zumalacárregui JM, Figueira AC, Osorio MT, Mateo J. 2009.** Nutrient composition and technological quality of meat from alpacas reared in Peru. *Meat Sci* 82: 450-455. doi:10.1016/j.meatsci.2009.02.015
 52. **San Martín F, Bryant FC. 1989.** Nutrition of domesticated South American llamas and alpacas. *Small Ruminant Res* 2: 191-216. doi: 10.1016/0921-4488(89)-90001-1
 53. **Schneider A, Hommel G, Blettner M. 2010.** Linear regression analysis: part 14 of a series on evaluation of scientific publications. *Dtsch Arztebl Int* 107: 776-782. doi: 10.3238/arztebl.2010.0776

54. **Senthilkumar MP. 2006.** Statistics on the web. *Ann R Coll Surg Engl* 88: 325-332. doi: 10.1308/003588406X106351g
55. **Shinde AK, Karim SA. 2007.** Energy expenditure of sheep and goat at pasture. *Ind J Small Ruminants* 13: 1-18
56. **Smith BB, Timm KI, Reed PJ. 1992.** Morphometric evaluation of growth in llamas (*Lama glama*) from birth to maturity. *J Am Vet Med Assoc* 200: 1095-1100.
57. **Sundstøl F. 1993.** Energy systems for ruminants. *Icel Agric Sci* 7: 11-19.
58. **Teixeira IA, Almeida AK, Fernandes MH, Resende KT. 2019.** Applying the California net energy system to growing goats. *Transl Anim Sci* 3: 999-1010. doi: 10.1093/tas/txz021
59. **Uslu OS, Kurt O, Kaya E, Kamalak A. 2018.** Effect of species on chemical composition, metabolizable energy, organic matter digestibility and methane production of some legume plants grown in Turkey. *J Appl Anim Res* 46: 1158-1161. doi: 10.1080/09712119.2018.1480485
60. **Valente EE., Paulino M, Detmann E, Valadares S, Cardenas JE, Dias IF. 2013.** Requirement of energy and protein of beef cattle on tropical pasture. *Acta Sci* 35: 417-424. doi: 10.4025/actascianimsci.v35i4.21143
61. **Van Saun RJ. 2006.** Nutrient requirements of South American camelids: a factorial approach. *Small Ruminant Res* 61: 165-186. doi: 10.1016/j.smallrumres.2005.07.006
62. **Wolynetz MS, Sibbald IR. 1984.** Prediction of initial carcass composition in comparative slaughter experiments. *Poultry Sci* 64: 681-687. doi: 10.3382/ps.0640681
63. **Wu H, Guang X, Al-Fageeh MB, Cao J, Pan S, Zhou H, Zhang L, et al. 2014.** Camelid genomes reveal evolution and adaptation to desert environments. *Nat Commun* 5: 5188. doi: 10.1038/ncomms7107
64. **Wurzinger M, Delgado J, Nürnberg M, Zárate AV, Stemmer A, Ugarte G, Sölkner J. 2005.** Growth curves and genetic parameters for growth traits in Bolivian llamas. *Livest Prod Sci* 95: 73-81. doi: 10.1016/j.livprodsci.2004.12.015
65. **Xu T, Xu S, Hu L, Zhao N, Liu Z, Ma L, Zhao X. 2017.** Effect of dietary types on feed intakes, growth performance and economic benefit in Tibetan sheep and yaks on the Qinghai-Tibet plateau during cold season. *Plos One* 12: e-0169187. doi: 10.1371/journal.pone.0169187
66. **Zereu G. 2016.** Factors affecting feed intake and its regulation mechanisms in ruminants: a review. *Int J Livestock Res* 6: 19-40. doi: 10.5455/ijlr.201603280859-09
67. **Zhao J, Ma X, Jin Y, Su R, Liu W, Ren Y, Zhang J. 2016.** Energy requirements for the maintenance and growth of Dorper-Jinzhong crossbred ram lambs. *Ital J Anim Sci* 15: 94-102. doi: 10.1080/1828051X.2016.1147336