

INFORMACIÓN TÉCNICA

REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE CABRAS LECHERAS. II. PROTEÍNA METABOLIZABLE¹

Jorge Alberto Elizondo-Salazar²

RESUMEN

Requerimientos nutricionales de cabras lecheras. II. Proteína metabolizable. El objetivo de este trabajo es presentar un extracto de los requerimientos nutricionales de proteína metabolizable de cabras lecheras a partir de la reciente publicación del National Research Council (NRC 2007): Requerimientos Nutricionales de Pequeños Rumiantes: Ovejas, Cabras, Cérvidos y Camélidos del Nuevo Mundo, con el fin de hacer esta información accesible a usuarios potenciales del área Mesoamericana.

Palabras claves: *Capra hircus*, requerimientos nutricionales, proteína metabolizable, nutrición de cabras, formulación de raciones.

ABSTRACT

Nutrient requirements of dairy goats. II. Metabolizable protein. The objective of this study is to present the daily metabolizable protein requirements of dairy goats extracted from the recently National Research Council (2007) publication: Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids, with the aim to make this information available to potential users in the Mesoamerican area.

Key words: *Capra hircus*, nutrient requirements, metabolizable protein, goat nutrition, ration formulation.



INTRODUCCIÓN

Los caprinos han sido compañeros y benefactores de la humanidad a través de la historia. Existe evidencia de que las cabras fueron de los primeros animales domesticados por el hombre (Belanger 1989). Desde los primeros días de la historia, muchos pueblos han usado y siguen usando a los caprinos como fuente de carne y leche. A pesar de ello, hasta hace poco existía muy poca información sobre los requerimientos nutricionales de estos animales.

Es sabido que las cabras presentan un comportamiento muy efectivo para seleccionar los alimentos que consumen, lo cual puede mejorar el valor nutritivo total del alimento ingerido. Por esta razón, uno de los mejores atributos conocidos de las cabras es su habilidad para producir en ambientes difíciles, cuando se compara con otras especies.

La evolución de los caprinos alrededor del mundo y su rol en el desarrollo agrícola y nutrición humana han sido el componente principal que ha estimulado

¹ Recibido: 19 de junio, 2007. Aceptado: 18 de enero, 2008. Parte del Proyecto inscrito en Vicerrectoría de Investigación No. 737-98-005, de la Universidad de Costa Rica.

² Estación Experimental Alfredo Volio Mata. Facultad de Ciencias Agroalimentarias. Universidad de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. Correo electrónico: jaelizon@cariari.ucr.ac.cr

en los últimos años el desarrollo de diversos estudios comprensivos que han ayudado a establecer de manera más precisa los requerimientos nutricionales de estos eficientes animales. Elizondo (2007) hace referencia a que han pasado más de 25 años desde que el National Research Council (NRC 1981) publicó las tablas de requerimientos nutricionales de cabras y que recientemente se ha publicado el libro *Requerimientos Nutricionales para pequeños rumiantes: ovejas, cabras, cérvidos y camélidos del Nuevo Mundo* (NRC 2007), actualizando y mejorando la última publicación con base en la amplia información que se ha producido en el último cuarto de siglo.

Por esta razón, el objetivo de este trabajo es presentar los requerimientos diarios de proteína metabolizable para cabras lecheras extraídos a partir de la reciente publicación de los requerimientos nutricionales de pequeños rumiantes, con el fin de hacer esta información más disponible para usuarios del área Mesoamericana.

PROTEÍNA

Las proteínas son las macromoléculas biológicas más abundantes. Se encuentran en todas las células y todos sus componentes. Las proteínas se encuentran en gran variedad de formas y tamaños, variando desde pequeños péptidos hasta inmensos polímeros, exhibiendo también una enorme diversidad de funciones biológicas (Nelson y Cox 2000).

Unidades monoméricas relativamente simples proveen la clave para la estructura básica de miles de proteínas diferentes. Todas las proteínas están constituidas a partir de 20 aminoácidos (AA), unidos covalentemente en secuencias lineales. De estos 20 AA, diferentes organismos pueden producir una diversa gama de productos como enzimas, hormonas, anticuerpos, tejido muscular, cuernos, pezuñas, proteínas de la leche y otras sustancias con distintas actividades biológicas (Maynard y Looslie 1979, Kellems y Church 1998).

La proteína dietética generalmente se refiere a la proteína cruda (PC), que para los alimentos, se define como el contenido de nitrógeno multiplicado por 6,25. La definición se basa en la asunción de que el contenido promedio de nitrógeno (N) en los alimentos es

igual a 16 gramos por cada 100 gramos de proteína. El cálculo del contenido de PC incluye tanto el nitrógeno proteico como el no proteico (NNP).

La proteína dietética se puede dividir, de acuerdo a su solubilidad y degradabilidad en el rumen, en tres fracciones a saber: A, B y C. La fracción A incluye el nitrógeno no proteico que es utilizado exclusivamente en forma de amoníaco (NH_3). La fracción C es el porcentaje de proteína cruda que es totalmente indegradable en el rumen e indigestible en el intestino delgado por estar ligada a la fibra ácido detergente. La fracción B está dada por la diferencia $100 - (A + C)$ y se considera la proteína verdadera potencialmente degradable en el rumen cuando el tiempo de fermentación es suficiente para que dicho proceso se lleve a cabo (NRC 2001).

En la Figura 1, se muestra de manera esquematizada el metabolismo de la proteína o del nitrógeno en un animal rumiante. El nitrógeno contenido en los alimentos se puede dividir en dos componentes: N proteico y N no proteico. Una fracción del N proteico es degradado en el rumen (PDR) por los microorganismos ruminales (bacterias, hongos y protozoarios). Dichos microorganismos utilizan estos compuestos nitrogenados para sintetizar sus propias proteínas (proteína microbial). La otra fracción corresponde al N o proteína no degradable en el rumen (PNR) o proteína de sobrepaso y es aquella que simplemente pasa del rumen hacia el tracto digestivo. Las fuentes de NNP como la urea, son muy solubles y son rápidamente convertidos a NH_3 . Otras fuentes de NNP como los ácidos nucleicos, son también degradados en el rumen pero a una tasa más lenta. Los microorganismos del rumen utilizan el NH_3 , esqueletos carbonados de los AA y energía para reproducirse. Estos microorganismos pasan luego al tracto digestivo junto con la proteína no degradada en el rumen para su posterior digestión y absorción. Parte del amoníaco no utilizado por las bacterias es absorbido a través de las paredes del rumen, pasando al torrente sanguíneo y luego al hígado donde es convertido a urea, la cuál se puede reciclar en la saliva y sangre, o puede eliminarse a través de la orina. Una fracción de los aminoácidos absorbidos en el intestino delgado será utilizada para la síntesis de músculo y proteínas de la leche. Finalmente, parte de la proteína no degradable en el rumen y de la proteína microbial no será digerida ni absorbida en el tracto digestivo y será excretada en las heces.

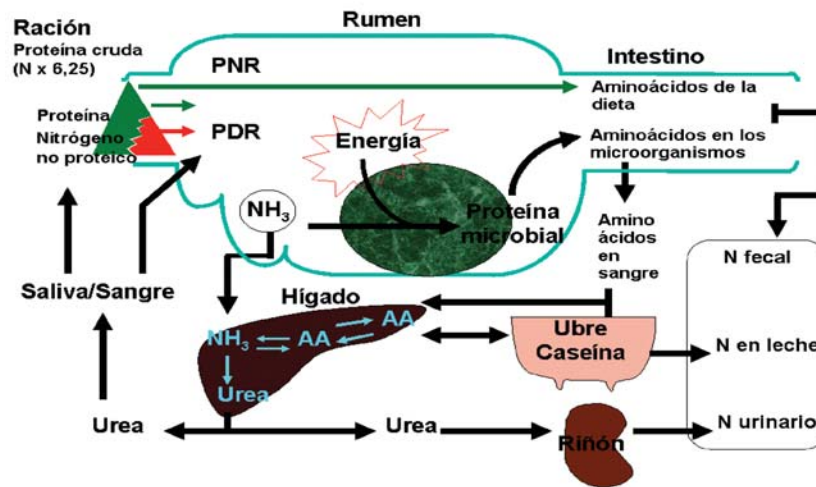


Figura 1. Esquema del metabolismo del nitrógeno en un animal rumiante (PNR = proteína no degradable en el rumen, PDR = proteína degradable en el rumen).

El objetivo de una adecuada nutrición proteica es proveer cantidades adecuadas de proteína degradable en el rumen para que se de una eficiencia ruminal óptima y obtener la productividad animal deseada con la cantidad de proteína mínima de manera que no se ofrezca a los animales un exceso, reduciéndose así el riesgo de contaminación ambiental (Elizondo 2006).

REQUERIMIENTOS DE PROTEÍNA METABOLIZABLE (PM)

Las necesidades de proteína de los animales se expresan en unidades de proteína metabolizable (PM) y se define como la proteína verdadera que es digerida posruminalmente y los aminoácidos absorbidos en el intestino (NRC 2001). La proteína microbiana sintetizada en el rumen, la proteína del alimento no degradada en el rumen y la proteína endógena, contribuyen al paso de proteína metabolizable al intestino delgado. Las fuentes de proteína endógena que pueden contribuir a la proteína duodenal incluyen: 1) mucoproteínas en la saliva, 2) células epiteliales del aparato respiratorio, 3) células y restos de células de la boca, esófago, retículo-rumen, omaso y abomaso, y 4) secreciones enzimáticas del abomaso (NRC 2001).

Los requerimientos de PM se determinan de forma factorial como la suma de las necesidades para

mantenimiento, lactación, gestación y crecimiento. Los requerimientos son siempre mayores, en términos de concentración de la dieta, para animales jóvenes y disminuyen conforme la tasa de crecimiento se reduce. Los requerimientos son los más bajos para animales adultos en situaciones de mantenimiento, aumentan durante la preñez y se incrementan marcadamente durante periodos de máxima producción láctea (NRC 2001).

Una deficiencia de proteína puede darse debido a que uno o más aminoácidos están limitados en la dieta o porque el nivel de proteína en la dieta no es suficiente. Algunos de los síntomas de una deficiencia proteica incluyen una reducida tasa de crecimiento, bajo consumo de alimento, pobre utilización del alimento, bajos pesos al nacimiento a menudo acompañados con alta mortalidad, poca producción de leche y baja fertilidad entre otros (Jurgens 1993, Kellems y Church 1998).

REQUERIMIENTOS DIARIOS DE PROTEÍNA METABOLIZABLE PARA MANTENIMIENTO (PM_M)

Las necesidades de PM_m para animales adultos se calculan factorialmente como la suma de los requerimientos para cubrir los gastos por la proteína que se pierde como nitrógeno endógeno urinario, nitrógeno endógeno fecal y nitrógeno dérmico. La proteína

endógena fecal consiste de bacterias y componentes de bacterias sintetizadas en el ciego e intestino grueso, células queratinizadas y otros compuestos, mientras que el nitrógeno dérmico incluye descamaciones, secreciones de la piel y pelos (NRC 2001).

Con la cita de cinco referencias, el valor de 2,03 g/kg PV^{0.75} fue establecido como el requerimiento de proteína total para el mantenimiento de cabras sin distinción de la etapa de vida o edad (NRC 1981) y utilizaron una relación caloría: proteína de 1 Mcal de energía digestible por 32 g de proteína total por cada kg de PV^{0.75}. Sin embargo, en la publicación actual (NRC 2007), ha quedado claro que los requerimientos de PM_m son diferentes de acuerdo a la etapa de vida y edad de los animales, y tales requerimientos se pueden obtener de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

Etapa de crecimiento (Comprendida entre el nacimiento y los 18 meses de edad).

Hembras y machos: 3,07 g/kg PV^{0.75}.

En el Cuadro 1, se presenta de forma resumida los requerimientos proteicos para animales en la etapa de crecimiento con un peso entre los 10 y 45 kilogramos.

Etapa adulta (Animales mayores a los 18 meses de edad).

Para el caso de animales adultos, se debe utilizar las siguientes ecuaciones, considerando que en la primera de ellas hay que tomar en cuenta el consumo de materia seca (MS).

Proteína endógena fecal (PEF) = 0,0267 g/g MS

Proteína endógena urinaria (PEU) = 1,031 g/kg PV^{0.75}.

Proteína dérmica (PD) = 0,2 g/kg PV^{0.60}.

En el Cuadro 2, se presenta los requerimientos de proteína metabolizable para mantenimiento de animales adultos con un peso entre los 20 y 90 kilogramos.

El NRC (2007) recomienda incrementar los requerimientos de mantenimiento en un 10% para los animales que se encuentren en actividad reproductiva (Cuadro 3).

REQUERIMIENTOS DIARIOS DE PROTEÍNA METABOLIZABLE PARA GANANCIA DE PESO (PM_g)

Las necesidades de PM_g se calculan en función de la tasa de ganancia de peso y de su composición. Tal

Cuadro 1. Requerimientos de proteína metabolizable para mantenimiento (PM_m) en g/d y suma de PM_m y proteína metabolizable requerida para ganancia de peso (PM_g) de cabras lecheras en la etapa de crecimiento^a. Sahlou *et al.* 2004, NRC 2007.

Género	GPD (g/d)	Peso vivo (kg)							
		10	15	20	25	30	35	40	45
Hembras y machos									
PM _m		17,26	23,40	29,03	34,32	39,35	44,18	48,83	53,34
PM _g +PM _m	25	24,51	30,65	36,28	41,57	46,60	51,43	56,08	60,59
	50	31,76	37,90	43,53	48,82	53,85	58,68	63,33	67,84
	100	46,26	52,40	58,03	63,32	68,35	73,18	77,83	82,34
	150	60,76	66,90	72,53	77,82	82,85	87,68	92,33	96,84
	200	75,26	81,40	87,03	92,32	97,35	102,18	106,83	111,34
	250	89,76	95,90	101,53	106,82	111,85	116,68	121,33	125,84
	300	104,26	110,40	116,03	121,32	126,35	131,18	135,83	140,34

^a Animales menores a 18 meses de edad.

GPD = ganancia de peso diaria.

Cuadro 2. Requerimientos de proteína metabolizable para mantenimiento (PM_m) en g/d para cabras lecheras adultas^a de acuerdo al peso y consumo de materia seca. Sahlu *et al.* 2004, NRC 2007.

Consumo MS (%PV)	Peso vivo (kg)								
	20	25	30	40	50	60	70	80	90
1	16,30	19,58	22,76	28,91	34,83	40,58	46,20	51,71	57,13
2	21,64	26,26	30,78	39,59	48,18	56,60	64,89	73,07	81,16
3	26,98	32,93	38,78	50,27	61,53	72,62	83,58	94,43	105,19
4	32,32	39,61	46,80	60,95	74,88	88,64	102,27	115,79	129,22
5	37,66	46,28	54,80	71,63	88,23	104,66	120,96	137,15	153,25
6	43,00	52,96	62,82	82,31	101,58	120,68	139,65	158,51	177,28

^a Mayor a los 18 meses de edad.

MS = materia seca.

PV = peso vivo.

Cuadro 3. Requerimientos de proteína metabolizable para mantenimiento^a (PM_m) en g/d y suma de PM_m y proteína metabolizable requerida para ganancia de peso (PM_g) de cabras lecheras adultas^b en actividad reproductiva. Sahlu *et al.* 2004, NRC 2007.

Género	GPD (g/d)	Peso vivo (kg)							
		20	30	40	50	60	70	80	90
Hembras y machos									
PM_m		26,74	38,26	49,42	60,34	71,07	81,66	92,13	102,49
$PM_g + PM_m$	20	32,54	44,06	55,22	66,14	76,87	87,46	97,93	108,29
	40	38,34	49,86	61,02	71,94	82,67	93,26	103,73	114,09
	60	44,14	55,66	66,82	77,74	88,47	99,06	109,53	119,89
	80	49,94	61,46	72,62	83,54	94,27	104,86	115,33	125,69
	100	55,74	67,26	78,42	89,34	100,07	110,66	121,13	131,49

^a Estimado utilizando un consumo de MS igual a 2,5% del peso corporal.

^b Mayor a los 18 meses de edad.

GPD = ganancia de peso diaria.

como se observa en otras especies, la tasa y composición de la ganancia de peso varía con la edad, genética y peso, entre otros factores. Animales jóvenes presentan mayor tasa y eficiencia de crecimiento que aquellos animales cercanos a alcanzar la madurez (Jurgens 1993).

Utilizando la relación caloría:proteína descrita anteriormente y con el resultado de tres referencias, el valor de 0,284 gramos de proteína total por gramo de ganancia de peso fue establecido como el requerimiento para ganancia de peso en el anterior NRC (1981). Sin embargo, con el actual NRC (2007), los requerimientos de proteína metabolizable (g/d) para

ganancia de peso se estiman de acuerdo a la ecuación: PM_g (g/d) = 0,29 g/g GPD.

En los Cuadros 1, 3 y 4 se muestran los requerimientos de PM_g considerando ganancias de peso entre los 0 y 300 gramos diarios.

Es importante recalcar que las hembras de primer parto se encuentran todavía en desarrollo y requieren de proteína extra para su continuo crecimiento, por lo que debe tomarse en cuenta este aspecto a la hora de estimar los requerimientos nutricionales de estos animales.

Cuadro 4. Requerimientos de proteína metabolizable para mantenimiento^a (PM_m) en g/d y suma de PM_m y proteína metabolizable requerida para ganancia de peso (PM_g) de cabras lecheras adultas^b. Sahlu *et al.* 2004, NRC 2007.

Género	GPD (g/d)	Peso vivo (kg)							
		20	30	40	50	60	70	80	90
Hembras y machos									
PM _m		24,31	34,78	44,93	54,85	64,61	74,23	83,75	93,18
PM _g +PM _m	20	30,11	40,58	50,73	60,65	70,41	80,03	89,55	98,98
	40	35,91	46,38	56,53	66,45	76,21	85,83	95,35	104,78
	60	41,71	52,18	62,33	72,25	82,01	91,63	101,15	110,58
	80	47,51	57,98	68,13	78,05	87,81	97,43	106,95	116,38
	100	53,31	63,78	73,93	83,85	93,61	103,23	112,75	122,18

^a Estimado utilizando un consumo de materia seca igual a 2.5% del peso corporal.

^b Mayor a los 18 meses de edad.

GPD = ganancia de peso diaria.

REQUERIMIENTOS DIARIOS DE PROTEÍNA METABOLIZABLE PARA PRODUCCIÓN DE LECHE (PM_L)

Los requerimientos de PM_L están basados en la cantidad de leche producida y el contenido de proteína verdadera secretada en la misma.

El NRC (1981) establece que se requieren 72 gramos de proteína cruda por cada litro de leche, basado en el sistema de proteína cruda digestible para ganado de leche (NRC 1978), debido a que en ese entonces no existía información adecuada para establecer dichos requerimientos en cabras gestantes. Por su parte, el actual NRC (2007) utiliza la siguiente ecuación para estimar los requerimientos de PM_L:

$$PM_L \text{ (g/d)} = 1,45 \text{ g/g de proteína en la leche.}$$

Esta ecuación estima la energía metabolizable para producción de leche, sin considerar la pérdida o ganancia de peso corporal típica de animales durante la lactancia. Por lo tanto, para estimar los requerimientos de proteína de forma más precisa, hay que considerar que el tejido corporal movilizado ofrece al animal 0,29 g de PM por cada gramo de pérdida de peso (NRC 2007)

En el Cuadro 5, se presenta los requerimientos diarios de PM_L, sin considerar cambios en el peso de

los animales y tomando en cuenta diferentes niveles de producción y porcentajes de proteína verdadera.

REQUERIMIENTOS DIARIOS DE PROTEÍNA METABOLIZABLE PARA GESTACIÓN (PM_{GEST})

El NRC (1981) establece incrementar en 82 gramos los requerimientos de proteína cruda durante los últimos dos meses de gestación para todas las hembras, sin importar el tamaño, biotipo o peso de las crías. En la actual edición, el NRC (2007) utiliza el método sugerido por Sahlu *et al.* (2004) para predecir los requerimientos de PM_{gest}, el cual toma en consideración el número de crías, el peso promedio esperado de las mismas y el número de días en gestación de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$PM_{gest} \text{ (Mcal/d)} = (-155,62 - (8,6668 \times PENAC) + (2,6495 \times DIA) + (0,0041667 \times NC) - (0,011049 \times DIA^2) + (0,097691 \times PENAC \times DIA) - (12,136 \times PENAC \times NC) + (0,14631 \times PENAC \times DIA \times NC))$$

Donde

PENAC = peso promedio esperado de las crías al nacimiento (kg).

DIA = día de gestación.

NC = número de crías.

Cuadro 5. Requerimientos de proteína metabolizable (g/d) para producción de leche (PM_l). Sahlu *et al.* 2004, NRC 2007.

Producción láctea (kg)	Proteína (%)					
	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
1	36,25	43,50	50,75	58,00	65,25	72,50
2	72,50	87,00	101,50	116,00	130,50	145,00
3	108,75	130,50	152,25	174,00	195,75	217,50
4	145,00	174,00	203,00	232,00	261,00	290,00
5	181,25	217,50	253,75	290,00	326,25	362,50
6	217,50	261,00	304,50	348,00	391,50	435,00
7	253,75	304,50	355,25	406,00	456,75	507,50

El Cuadro 6, presenta los requerimientos de energía metabolizable para cabras con diferentes días en gestación, número de crías y peso promedio esperado al nacimiento.

Cuadro 6. Requerimientos de proteína metabolizable (g/d) de cabras lecheras en gestación (PM_{gest}). Sahlu *et al.* 2004, NRC 2007.

Peso al nacimiento (kg)	Día	Número de crías		
		1	2	3
2	100	6,04	11,03	16,03
	105	10,40	16,86	23,32
	115	17,47	26,85	36,24
	125	22,33	34,64	46,95
	135	24,97	40,21	55,45
	145	25,41	43,57	61,74
3	100	9,64	17,13	24,61
	105	15,22	24,90	34,59
	115	24,73	38,80	52,87
	125	32,02	50,49	68,95
	135	37,11	59,96	82,81
	145	39,99	67,23	94,47
4	100	13,23	23,22	33,20
	105	20,04	32,95	45,86
	115	31,98	50,75	69,51
	125	41,72	66,34	90,95
	135	49,25	79,72	110,18
	145	54,57	90,89	127,21

Es importante hacer notar que el NRC (2007) tomó en consideración las siguientes asunciones para establecer los requerimientos de proteína metabolizable:

1) La eficiencia con que se utiliza la PM de la dieta para las funciones de mantenimiento es 1,0.

2) La eficiencia con que se utiliza la PM de la dieta para ganancia de peso es 0,59.

3) La eficiencia con que se utiliza la PM del tejido movilizado para la síntesis de proteína láctea es 0,69 ó 1,45 g/g.

Finalmente, a pesar de que fisiológica y nutricionalmente el uso de proteína metabolizable es preferido al uso de proteína cruda, este concepto puede ser algo confuso para algunos usuarios. Por esta razón, para convertir la proteína metabolizable a proteína cruda, la proteína metabolizable se puede dividir entre un factor que oscila entre 0,64 y 0,80, basado en que el NRC (2000) indica que el consumo de PM oscila entre 64 y 80% de la proteína cruda en dietas con 0 – 100% de proteína no degradable en el rumen.

LITERATURA CITADA

Belanger, J. 1989. Raising milk goats the modern way. Rev. ed. Vermont, U.S.A. Garden Way Publishing. 200 p.

- Elizondo, J. 2006. El nitrógeno en los sistemas ganaderos de leche. *Agronomía Mesoamericana* 17(1):69-77.
- Elizondo, J. 2007. Requerimientos nutricionales de cabras lecheras. I. Energía metabolizable. *Agronomía Mesoamericana* 19(1): 115-122.
- Jurgens, MH. 1993. *Animal feeding and nutrition*. 7 ed. Iowa, USA. Kendall/Hunt Publishing Company. 580 p.
- Kellems, RO; Church, DC. 1998. *Livestock feeds and feeding*. 4ed. Upper Saddle River, NJ, USA. Prentice-Hall, Inc. 546 p.
- Maynard, LA; Looslie, JK. 1979. *Animal nutrition*. 7 ed. New York, NY, USA. McGraw-Hill, Inc. 602 p.
- NRC (National Research Council). 1978. *Nutrient requirements of Dairy Cattle*. 5 ed. Washington, DC, USA. National Academy Press. 76 p.
- NRC (National Research Council). 1981. *Nutrient requirements of goats*. Washington, DC, USA. National Academy Press. 91 p.
- NRC (National Research Council). 2000. *Nutrient requirements of Beef Cattle*. Washington, DC, USA. National Academy Press. 232 p.
- NRC (National Research Council). 2001. *Nutrient requirements of Dairy Cattle*. 7 rev. ed. Washington, DC., USA. National Academy Press. 381 p.
- NRC (National Research Council). 2007. *Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and new world camelids*. Washington, DC, USA. National Academy Press. 362 p.
- Nelson, DL; Cox, MM. 2000. *Lehninger principles of biochemistry*. 3 ed. New York, USA. Worth Publishers. 1.200 p.
- Sahlu, T; Goetsch, AL; Luo, J; Nsahlai, IV; Moore, JE; Galyean, ML; Owens, FN; Ferrell, CL; Johnson, ZB. 2004. Nutrient requirements of goats: developed equations, other considerations and future research to improve them. *Small Rumin. Res.* 53:191-219.