

NUEVO SISTEMA DE ALIMENTACIÓN Y RECOMENDACIONES NUTRITIVAS PARA PEQUEÑOS RUMIANTES: SRNS

Antonello Cannas¹ y Carlos Fernández²

¹ Dipartimento di Scienze Zootecniche, University of Sassari, Italy.

² Departamento de Ciencia Animal, Universidad Politécnica de Valencia, España.

1.- INTRODUCCIÓN

La producción ovina y caprina es un importante recurso económico en muchos países alrededor del mundo. Como todos conocemos, sus principales productos son lana, carne y leche. Mientras la producción de lana está generalmente asociada a sistemas extensivos en donde no se necesitan grandes aportes de nutrientes por animal, la producción de carne, y en mayor medida la producción de leche, necesitan sistemas más intensivos y por tanto una mayor cantidad de nutrientes por animal.

El ovino y el caprino se caracterizan por una amplia variedad de sistemas de producción (desde la cría basada en sistemas extensivos hasta sistemas de producción altamente tecnificados) y de alimentación (desde dietas basadas en el pastoreo a raciones completas [TMR]). Esto es debido a la amplia variedad de áreas geográficas en las que estas especies habitan, a su adaptabilidad al entorno geográfico y climatológico, y a la biodiversidad de recursos alimenticios. Por esta razón, el desarrollo de sistemas de alimentación para ovino y caprino supone un desafío mayor que cuando únicamente nos referimos a ganado vacuno. A pesar de ello, los sistemas actuales de alimentación para ovino y caprino están basados en ecuaciones empíricas, es decir, modelos en los que los datos experimentales se utilizan directamente para cuantificar relaciones causa-efecto sin poder conocer los mecanismos de acción para determinados procesos biológicos, y además se actualizan con menos frecuencia que los sistemas de alimentación para vacuno (Cannas, 2002; Cannas et al., 2008).

Únicamente el sistema francés INRA (1988, 2007; **INRA**) considera específicamente las necesidades para el ovino lechero. En la actualidad es el sistema de racionamiento más utilizado en los países Mediterráneos, especialmente Francia, España e Italia, donde el ganado ovino y caprino de leche son particularmente abundantes.

Sin embargo, al sistema INRA ha sido criticado porque las dietas formuladas con este sistema subestiman el valor nutritivo de los alimentos, con errores que se incrementan proporcionalmente al aumentar el nivel de alimentación de los animales, causando una sobreestimación en el balance energético que puede ser de hasta un 20-30% de la energía total ingerida con niveles de alimentación de alrededor de 3 veces el de mantenimiento (Cannas, 2004). Esto se debe a que en el sistema INRA el valor energético de los alimentos se estima asumiendo que los animales reciben niveles de alimentación cercanos al mantenimiento. Sin embargo, se sabe que cuando el nivel de ingestión es alto, como sucede siempre en ovejas en lactación, la velocidad de tránsito del alimento aumenta. Así, la digestibilidad de las fracciones del alimento de fermentación lenta (principalmente fibra) es inferior a aquellas procedentes de animales alimentados próximos al mantenimiento. En el caso del vacuno y caprino lechero, el sistema INRA compensa este efecto incrementando las necesidades de las vacas en proporción a su nivel de alimentación y su ingestión de concentrados. No se realizan correcciones para el ovino, a pesar de que el ovino está alimentado frecuentemente a niveles de alimentación similares o incluso superiores al vacuno lechero, y que el ovino tiene una velocidad de tránsito del alimento más rápida que el vacuno para un mismo nivel de alimentación.

Debido a las limitaciones de los sistemas actuales disponibles, Cannas et al. (2004, 2006) desarrollaron un nuevo sistema de alimentación para ovino tomando como marco el sistema Cornell (Cornell Net Carbohydrate and Protein System, **CNCPS**; Fox et al., 2004). El modelo NRC (2007) utilizó el CNCPS para ovino para calcular las necesidades. Posteriormente, el CNCPS para ovino evolucionó hacia el Sistema de Nutrición para Pequeños Rumiantes (Small Ruminant Nutrition System; Cannas et al., 2007a, b; Cannas et al., 2010; Tedeschi et al., 2010; **SRNS**), el cual incluye ecuaciones específicas para adaptar el SRNS a las especies ovina y caprina.

En esta publicación se va a describir el SRNS, centrándose principalmente en el submodelo que predice el aporte de nutrientes y el valor nutritivo de la ración. Se mostrarán evaluaciones sobre el aprovechamiento de la dieta por los animales utilizando el submodelo SRNS. Y finalmente se predecirá el valor energético y proteico de algunos alimentos seleccionados y se compararán con los publicados en las Tablas FEDNA (2004; 2010; **FEDNA**).

2.- EL SISTEMA DE NUTRICIÓN PARA PEQUEÑOS RUMIANTES (SMALL RUMINANT NUTRITION SYSTEM)

El SRNS incluye submodelos para la estimación de las necesidades, ingestión de alimento y aporte de nutrientes. Todo ello está implementado en un software multilenguaje, que está traducido al castellano (<http://nutritionmodels.tamu.edu/srns.htm>), el cual posee una amplia librería de alimentos que va desde regiones templadas a tropicales.

2.1.- Necesidades

Las ecuaciones utilizadas por el SRNS para predecir las necesidades en energía, proteína, calcio y fósforo están descritas con todo detalle en varias publicaciones (Cannas et al., 2004; 2006; 2007a, b; 2010; Tedeschi et al., 2010). Dadas las limitaciones de esta conferencia, aquí solo vamos a dar una breve descripción de las necesidades, y entraremos en más detalle en la parte correspondiente a la valoración nutritiva de alimentos.

El SRNS calcula de forma separada las necesidades en energía neta (**NE**) para el mantenimiento, crecimiento, gestación, lactación y reservas corporales, los cuales se pueden convertir a energía metabolizable (**ME**) utilizando las eficacias de utilización de la ME para cada uno de estos estados fisiológicos.

En el SRNS, las necesidades energéticas para el metabolismo basal están ajustadas según la edad, especie, genotipo (solo para caprino), ingestión de energía, actividad física, excreción de urea, aclimatación y estrés por frío, con objeto de estimar el total de las necesidades para el mantenimiento expresadas en ME. Las necesidades para producción de leche expresadas en ME se han estimado a partir del contenido en NE de leche, basado en las mediciones del rendimiento lechero, grasa y proteína verdadera (Pulina et al., 1989). Las necesidades en NE para mantenimiento y lactación se han convertido a ME utilizando una eficiencia de 0,644. Las necesidades de gestación expresadas en ME se han estimado utilizando las ecuaciones de ARC (1980) y CSIRO (1990). Las necesidades proteicas para el mantenimiento se expresan en proteína metabolizable (**MP**) y se calculan como la suma de las necesidades para lana, pérdidas endógenas de proteína en orina y heces, con una adaptación del modelo CSIRO (1990). Las necesidades en MP para producción de leche se han predicho a partir del rendimiento lechero y el contenido en proteína verdadera. El coeficiente de conversión de la MP a proteína neta (**NP**) es 0,58 para ovino y 0,64 para caprino, según sugiere INRA (1988; 2007). Las necesidades proteicas para gestación se calculan siguiendo las recomendaciones del ARC (1980) y CSIRO (1990). La energía disponible para el

crecimiento o cambios en las reservas corporales (animales maduros) depende del balance energético una vez satisfechas las necesidades para el mantenimiento, lactación y gestación. El mismo enfoque se realiza para calcular la PM disponible para el crecimiento o cambios en reservas corporales.

El modelo para el crecimiento del CSIRO (1990) se ha modificado para poder predecir las necesidades en ME y MP para el crecimiento de corderos y cabritos. El SRNS calcula la eficacia de conversión de la ME a NE para ganancia de peso con una ecuación mecanicista propuesta por Tedeschi et al. (2004), basada en la proporción de energía y proteína retenida. Se han desarrollado nuevas ecuaciones para estimar la relación entre condición corporal (BCS, escala de 0 a 5), peso corporal total (FBW), y composición corporal en ovejas y cabras adultas. Se ha desarrollado un modelo que predice la relación entre FBW y BCS en varias razas de ovejas y cabras. Así, el FBW de un animal con una cierta BCS se puede predecir si conocemos el peso vivo medio maduro (animal con esqueleto completamente desarrollado) de la raza (para un sexo determinado), y una BCS de 2,5 (intermedio entre 0 y 5). Por ejemplo, si tenemos un grupo de ovejas Manchegas (por tanto, hembras) con una BCS de 2,0 y las hembras de esta raza tienen un peso vivo maduro de 60 kg para una BCS de 2,5, se podría calcular el peso vivo para la BCS de 2,0. Por motivos de espacio la ecuación para el cálculo no aparece en el texto. En resumen, podemos predecir el FBW actual cuando se conocen el BCS y peso vivo maduro de una determinada raza para una BCS de 2,5 (**FBW@BCS2,5**) o la predicción de **FBW@BCS2,5** cuando lo que se conoce es la BCS y el FBW actual. Las ecuaciones de Russel et al. (1969) para ovino y Ngwa et al. (2007b) para caprino, son las utilizadas para predecir la relación entre la proporción de grasa en el peso vivo vacío y la BCS.

2.2.- Valores de predicción de la energía y proteína de los alimentos

La predicción del valor biológico de los alimentos está basada en sus fracciones de carbohidratos y proteína junto a sus velocidades de digestión, en las velocidades de tránsito de los forrajes, concentrados y líquidos, en el crecimiento microbiano y en el aspecto físico de la fibra (fibra efectiva).

2.2.1.- Predicción de la degradación ruminal y escape de los carbohidratos y proteínas del alimento

Como sucede con el sistema CNCPS (Fox et al., 2004), en el sistema SRNS los carbohidratos y las proteínas se dividen en fracciones (4 para los carbohidratos y 5 para la proteína) en función de la velocidad con la que se degradan en el rumen (Cuadro 1). Una

de estas fracciones (fracción C) se considera que es totalmente indigestible en el rumen y en el intestino. El porcentaje de cada fracción potencialmente fermentable que es degradada en el rumen se calcula como el cociente entre la tasa de degradación ruminal de la fracción y, la suma de la tasa de degradación y la velocidad de tránsito.

La velocidad de degradación se estima experimentalmente. Se ha recogido dicha información para un gran número de alimentos y se ha incorporado en la base de datos del software. En el SRNS, la velocidad de degradación puede variar en función del pH del rumen, reduciéndose a una fracción cuando el pH cae por debajo de 6,2.

En el CNCPS y SRNS la predicción de la velocidad de paso del alimento a través del rumen (**Kp**) es uno de los pasos más importantes para estimar la digestibilidad ruminal de los nutrientes. La velocidad de tránsito está influenciada por innumerables variables asociadas al animal y al alimento. Cuando las predicciones del CNCPS-C se aplicaron a pequeños rumiantes, la Kp estaba subestimada comparada con las medidas realizadas en ovino utilizando marcadores externos (Cannas, 2000). Por esta razón, se utilizan las ecuaciones propuestas por Cannas y Van Soest (2000) para predecir la velocidad de paso a través del rumen de los forrajes y concentrados, y aquellas de Cannas et al., (2004) para la predicción de la velocidad de paso de los líquidos.

La velocidad de paso de los forrajes está estimada con un modelo alométrico basado en experimentos en los cuales Kp se midió aplicando marcadores externos a los alimentos (Cannas y Van Soest, 2000). Este modelo está basado en 157 dietas y en mediciones de la velocidad de tránsito que se encuentran en 36 diferentes trabajos científicos publicados. Estos 157 tratamientos se dividen en 45 experimentos realizados en ovino, 100 realizados en vacuno, 4 en búfalos y 8 en cabras.

El Kp ruminal para los concentrados está estimado mediante regresión lineal con una base de datos con 36 dietas experimentales diferentes y las medidas de velocidad de tránsito que encontramos en 7 trabajos de investigación publicados realizadas con marcadores externos (Cannas y Van Soest, 2000). Había 26 medidas en vacuno, 6 en ovino y 4 en caprino.

La Kp ruminal para líquidos se predijo en experimentos en los que al mismo tiempo se medía la Kp de los concentrados, mediante el empleo de marcadores externos. Hubo 18 tratamientos a partir de experimentos con vacuno en lactación, 4 con vacuno seco y 6 con ovinos castrados en crecimiento. La Kp de los líquidos y las de los concentrados estuvieron relacionados de forma lineal.

Cuadro 1.- Estimación de la degradación ruminal del alimento según CNCPS y SRNS**Fracción del carbohidrato del alimento y su Kd**

A = azúcar simple, ácido orgánico; $K_d = 175-300 \text{ %/h}$; $k_d \gg k_p$

B₁ = almidones y pectina; $K_d = 25-40 \text{ %/h}$; $k_d > k_p$

B₂ = NDF potencialmente degradable; $K_d = 3-6 \text{ %/h}$; $k_d \sim K_p$

C = lignina y fibra ligada a lignina, indigestible; $K_d = 0$

Fracción proteica del alimento y su Kd

A = N no proteico ; $K_d = \infty$; $k_d \gg k_p$

B₁ = proteína verdadera citoplasmática soluble; $K_d = 175-300 \text{ %/h}$; $k_d > k_p$

B₂ = proteína verdadera citoplasmática insoluble; $K_d = 5-12 \text{ %/h}$; $k_d \approx K_p$

B₃ = proteína verdadera asociada a la pared celular, potencialmente digestible; $K_d = 0,15-2 \text{ %/h}$; $k_d \approx K_p$

C = proteína asociada ADF, indigestible; $K_d = 0$

Estima de la degradación ruminal (%) de la fracción (por ejemplo B1) de un cierto alimento fermentado en el rumen es igual:

$$\text{Degradación ruminal de B1} = \frac{K_{d_{B1}}}{K_{d_{B1}} + K_p}$$

El % de una fracción (por ejemplo B1) de un cierto alimento que abandona el rumen sin ser degradado es igual a: $UIP_{B1} = 1 - \text{Degradación ruminal efectiva B1}$

K_d = velocidad de degradación (%/h) de la fracción B1 de un cierto alimento

$K_p = K_p$ (%/h) velocidad de paso del alimento que contiene la fracción; varía en función de muchos factores.

Ejemplo para el grano de maíz en harina (74% almidón; fracción B1 del carbohidrato):

$K_{d_{B1}} = 25 \text{ %/h}$; $K_p = 6 \text{ %/h}$. Degradación ruminal efectiva = 80,6 %; cuota de escape: 19,4%.

DIGESTIBILIDAD INTESTINAL DE CARBOHIDRATOS

A = 100%; **B1** = 75% (con amplia variación en función del tipo de alimento y del tratamiento aplicado); **B2** = 20%; **C** = 0%.

DIGESTIBILIDAD INTESTINAL DE LA PROTEÍNA NO DEGRADADA DE LA DIETA

La digestibilidad intestinal de la proteína del alimento que escapa a la degradación ruminal se considera igual a 100% para la fracción proteica **A**, **B1** y **B2**; 80% para la fracción **B3**; 0% para la fracción **C**.

Las ecuaciones empleadas por el SRNS son:

$$Kp[\text{forrajes}] = 1,82 \times D\text{-NDFI}^{0,40} \times \exp(0,046 \times D\text{-CP}\%) \quad r^2 = 0,53; SE = 0,80$$

$$Kp[\text{concentrados}] = 1,572 \times Kp[\text{forrajes}] - 0,925 \quad r^2 = 0,65; SE = 1,10$$

$$Kp[\text{líquidos}] = 0,976 \times Kp[\text{conc.}] + 3,516 \quad r^2 = 0,45; SE = 2,07$$

donde **Kp** es la velocidad de tránsito, %/h; **D-NDFI** es el total de fibra neutro detergente ingerida de la dieta expresada como porcentaje de peso vivo; y **CP** es la concentración en proteína bruta de la dieta en porcentaje de materia seca.

La velocidad de tránsito de los forrajes y concentrados se ajustan posteriormente según tamaño de partícula basándonos en el contenido en NDF físicamente efectiva de cada alimento (Mertens, 1997). Como en el CNCPS-C, **Kp** se ajusta para cada alimento de forma individual mediante la utilización de un factor de ajuste multiplicativo (**Af**) según el tamaño de partícula y mediante la utilización de la NDF físicamente efectiva de la dieta (**peNDF**): $Af[\text{forrajes}] = 100/(\text{peNDF} + 70)$; $Af[\text{concentrados}] = 100/(\text{peNDF} + 90)$, donde **peNDF** es la proporción de NDF físicamente efectiva (NDF retenida en una criba de 1,18 mm) en alimentos individuales. La concentración en la dieta de **peNDF** también se utiliza para predecir el pH del rumen. Estas ecuaciones se utilizaron porque eran las únicas disponibles para explicar el efecto del tamaño de partícula sobre la velocidad de tránsito y el pH del rumen. Sin embargo, estos efectos probablemente sean diferentes entre pequeños y grandes rumiantes (Van Soest et al., 1994). Realmente éste es un área en la que sería necesario un mayor número de investigaciones.

Un ejemplo del efecto de la velocidad del tránsito sobre la digestibilidad ruminal de la harina de soja se muestra en el cuadro 2. La velocidad de tránsito para la degradación ruminal de la soja es muy variable, así obtenemos una digestibilidad ruminal total del 77% para una velocidad de tránsito baja (3%/h), típica de los animales con bajos niveles de ingestión (por ejemplo, ovejas o cabras secas), hasta un 59% para animales con alta velocidad de tránsito (9%/h), como ovejas o cabras en el pico de lactación.

El SRNS también incluye un submodelo procedente del CNCPS que reduce la degradación ruminal en dietas deficientes en N (Tedeschi et al., 2000).

Cuadro 2.- Ejemplo de estimación de la degradación de la proteína ruminal de la harina de soja para distintas velocidades de tránsito según CNCPS y SRNS.

	Velocidad de degradación (%/h)	Velocidad de tránsito (%/h)			
		3	5	7	9
Proteína alta velocidad A	instantánea	100	100	100	100
Proteína velocidad rápida B1	230	98,7	97,9	97,0	96,2
Proteína velocidad media B2	11	78,6	68,8	61,1	55,0
Proteína velocidad lenta B3	0,2	6,3	3,8	2,8	2,2
Proteína indigestible C	0	0	0	0	0
Degradabilidad ruminal total de la proteína bruta		77	69,5	63,6	59,0

* Fracción proteica de la harina de soja (% PB): A = 9,0% ; B1 = 9% ; B2 = 75,0%; B3 = 3,0%; C = 4,0%.

2.3.- Síntesis microbiana y flujos

El sistema SRNS estima la cantidad de proteína microbiana digestible en el intestino utilizando la ecuación del modelo CNCPS, con la excepción del Kp de los líquidos que se estima con las ecuaciones descritas anteriormente. Así, el SRNS considera dos grupos diferentes de bacterias del rumen, uno que utiliza como sustrato principal los carbohidratos no estructurales (bacterias NSC) y otro con aquellas que utilizan preferentemente los carbohidratos estructurales (bacterias SC) (cuadro 3). Las dos clases difieren en sus necesidades de energía y retención de nitrógeno. Las bacterias SC tienen unas necesidades energéticas de mantenimiento tres veces más bajas que las bacterias NSC (cuadro 3). La cantidad de bacterias producidas en el rumen es igual a la cantidad de hidratos de carbono fermentables en el rumen, multiplicado por la eficiencia con la que las bacterias utilizan cada gramo de carbohidrato fermentado. Esta eficiencia, a su vez, disminuye con el aumento de los costes energéticos de mantenimiento y aumenta con la velocidad de degradación del sustrato. También está influenciada negativamente por el pH del rumen, estimado por el SRNS basándose en la cantidad de fibra que estimula la rumia (efectiva) aportada por la ración, y las deficiencias de N en el rumen estimadas por el modelo (cuadro 3). Las necesidades de nitrógeno de las bacterias se consideran igual a 10 g de N por 100 g de hidratos de carbono fermentados. El SRNS también tiene en cuenta la disponibilidad de péptidos en el rumen (cuadro 3). Si están presentes en cantidades inadecuadas, se reduce la cantidad de proteína microbiana derivada de las bacterias NSC,

que tienen un requisito específico de péptidos. El flujo de las bacterias intestinales en el rumen se calcula sobre la base de la Kp del líquido.

La cantidad de proteína bacteriana se considera igual al 62,5% del peso de las bacterias. De esta proteína, el 60% es proteína verdadera, mientras que el resto se compone de N asociado a la pared celular bacteriana y N de los ácidos nucleicos (cuadro 3). Ambos pueden ser considerados indigestibles o digestibles, pero se excretan totalmente en la orina.

Cuadro 3.- Síntesis microbiana y estimación de la cantidad de proteína bacteriana digerida en el intestino según CNCPS y SRNS.

Síntesis microbiana dividida en 2 clases de bacterias:

Bacterias NSC:

- fermentan azúcares simples, almidón, pectinas—sustratos con Kd alto
- necesidades de mantenimiento altas: 0,15 g CHO/g bacteria x hora
- uso de péptidos o NH₃ como fuente de N
- hasta 2/3 de las necesidades cubiertas con péptidos

Bacterias SC:

- fermentan fibra (celulosa, hemicelulosa)—sustratos con Kd bajo
- necesidades de mantenimiento bajas: 0,05 g CHO/g bacteria x hora
- usan solo NH₃ como fuente de N

PRODUCCIÓN DE BACTERIAS PARA UNA CIERTA FRACCIÓN DE CARBOHIDRATO

$$\text{Producción Bacterias (g/d)} = S \times Y \times (1 + \text{Pept}_{ADJUST})$$

S = sustrato de carbohidrato fermentado (g/d)

Pept_{adjust} = corrección para tener en cuenta el efecto de la disponibilidad ruminal de los péptidos que promueven la síntesis bacteriana por los NSC.

$$Y = \text{eficiencia microbiana (g bacterias/g CHO)} \quad \frac{1}{Y} = \frac{m}{Kd} + \frac{1}{Y_{MAX}} \rightarrow$$

Y_{MAX} = eficacia teórica máxima de crecimiento 0,05 g bacterias/ g CHO

- reducción del 20% debido a la predación por protozoos
- reducción cuando el pH baja

m = necesidades de mantenimiento de las bacterias (g CHO/g bacterias x hora)

2.4.- Digestibilidad y valor energético de los alimentos

La digestibilidad intestinal de la proteína bacteriana se considera, por el SRNS, del 80% (cuadro 3). La digestibilidad intestinal para los carbohidratos y las proteínas que escapan a la fermentación ruminal están predichas con coeficientes fijos que varían entre las diferentes fracciones (cuadro 1). En particular, la digestibilidad intestinal media del almidón se considera igual al 75%. Sin embargo, el CNCPS sugiere el uso de valores específicos en función de la materia prima considerada y del tratamiento físico recibido. Por ejemplo, para el grano de maíz el sistema CNCPS recomienda coeficientes de digestibilidad intestinal que van desde 50-70% para el grano partido, hasta el 92-97% para el grano en copos.

Basado en la CP, NDF, carbohidratos no fibrosos y digestibilidad de la grasa de cada alimento, y el nivel de alimentación actual del animal, el SRNS calcula los nutrientes digestibles totales (TDN) que emplea para estimar la energía digestible (DE, Mcal/kg = (%TDN/100) × 4,409), ME (ME, Mcal/kg = (DE × 1,01) – 0,45) e ingestión de energía metabolizable MEI, Mcal/d, = ME × DMI), siendo DMI la ingestión de materia seca.

2.5.- Evaluación de la predicción de los aportes según el submodelo SRNS

Se han publicado un importante número de evaluaciones para el CNCPS en ovino y para el SRNS para ovino y caprino (Cannas et al., 2004, 2006, 2007a, b; Tedeschi et al., 2010). En esta sección vamos a resumir un conjunto de evaluaciones llevadas a cabo con el SRNS para la predicción del aporte de nutrientes y el valor nutritivo de los alimentos.

2.5.1.- Predicción de la digestibilidad total en ovino

Los coeficientes de digestibilidad de DM (materia seca), OM (material orgánica), NDF, y CP se encuentran en 12 publicaciones (46 dietas experimentales; Cannas et al., 2004) donde se comparan estos coeficientes con los valores estimados por el SRNS. La información recogida en las publicaciones sobre FBW, ingestión de alimento y composición se utilizaron como entradas (inputs) en el modelo SRNS. El submodelo del SRNS que corrige degradación ruminal en dietas deficientes en nitrógeno (Tedeschi et al., 2000) se evaluó en 13 dietas en las cuales el SRNS predijo un balance nitrogenado (N) en el rumen negativo. La base de datos utilizada para esta evaluación cubre un amplio rango de dietas, pesos vivos y digestibilidades.

2.5.2.- Dietas con balance positivo de N en el rumen.

El SRNS predijo la digestibilidad aparente de la OM con exactitud, la cual se utiliza para predecir los valores de ME, con una diferencia media entre digestibilidades predichas y observadas (P-O) que no difieren de cero (1,1 unidades; $P > 0,1$), con un RMSPE (raíz cuadrada media del error de predicción) de 3,6 unidades (cuadro 4). La regresión de valores observados sobre predichos para la digestibilidad de la OM no difirió de la línea de equivalencia ($P > 0,1$). La digestibilidad aparente de la CP de la dieta se predijo también con exactitud por el SRNS. La diferencia media entre P-O no fue diferente de cero (-1,9 unidades; $P > 0,1$). Y la regresión de valores observados sobre predichos para el coeficiente de digestibilidad aparente de la CP no fue diferente a su línea de equivalencia ($P > 0,1$). Sin embargo, su precisión fue baja ($r^2 = 0,34$; RMSPE 7,2 g/100 g) (cuadro 4). El SRNS predijo con exactitud la digestibilidad aparente de la DM (P-O = 1,1 unidades; $P > 0,1$), pero subvaloró la digestibilidad de la NDF (P-O = -4,3 unidades; $P < 0,01$) (cuadro 4).

Cuadro 4.- Evaluación de las predicciones del SRNS sobre la digestibilidad total de DM, OM, NDF y CP en ovino. Los resultados están separados en base al balance del N en el rumen según las dietas.

Ítem	n	Predichos g/100 g	Observados g/100 g	P-O g/100 g	RMSPE ^a g/100 g
DM, balance N rumen positivo	25	62,1	61,8	0,3 ^{NS}	4,0
DM, balance N rumen negativo	8	45,5	51,2	-5,7 ^{**}	6,6
OM, balance N rumen positivo	19	61,3	60,2	1,1 ^{NS}	3,6
OM, balance N rumen negativo	12	53,3	56,6	-3,3 ^{NS}	6,5
NDF, balance N rumen positivo	32	50,3	54,6	-4,3 ^{**}	6,9
NDF, balance N rumen negativo	13	45,2	54,3	-9,1 ^{**}	12,0
CP, balance N rumen positivo	23	67,7	69,6	-1,9 ^{NS}	7,2
CP, balance N rumen negativo	7	45,4	42,7	2,7 ^{NS}	12,8

^a RMSPE = raíz cuadrada del error medio de predicción.

*, **, NS nivel de significación de las diferencias entre los valores predichos y los observados ($P < 0,05$; $P < 0,01$ y $P > 0,1$; respectivamente) cuando fueron sometidas a un test *t*.

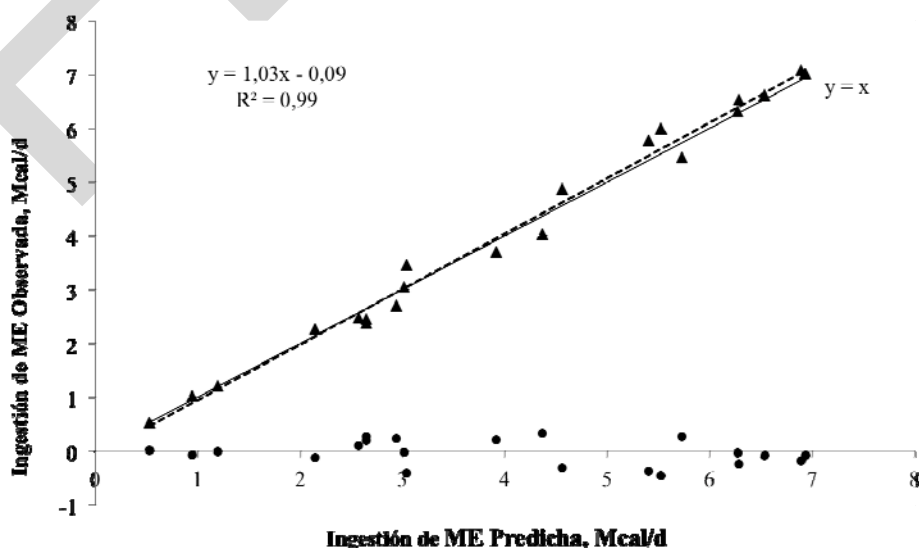
2.5.3.- Dietas con balance negativo de N en el rumen.

El SRNS sobreestimó la digestibilidad de la DM, OM y NDF de las dietas que eran deficientes en N en el rumen cuando se utilizaron las ecuaciones de Tedeschi et al. (2000) para dietas deficientes en N (cuadro 4). Cuando dichas ecuaciones no se utilizan, la predicción empeora (Cannas et al., 2004). El CNCPS-S predice con fiabilidad la digestibilidad total aparente de la CP ($P-O = 2,7$ unidades de digestibilidad; $P > 0,1$) pero la precisión fue baja (cuadro 4).

2.5.4.- Evaluación de la predicción en la ingestión de la ME en caprino

La predicción del SRNS de la ingestión de ME en caprino fue evaluado en 5 estudios publicados, en los cuales se habían realizado balance de nutrientes y calorimetría indirecta en cabras en lactación (Aguilera et al., 1990; Rapetti et al., 1997; 2002; 2005) y ovino castrado en crecimiento (Ngwa et al., 2007a). Las publicaciones utilizadas para evaluar el SRNS aportaban solo parte de la información necesaria sobre composición de los alimentos para el modelo; por lo tanto, muchos valores se han estimado. A pesar de ello, el SRNS puede predecir con exactitud y precisión la ingestión de ME diaria para caprino: el valor medio observado fue de 4,005 Mcal/d, y el valor medio de predicción de 3,965 Mcal/d, con un sesgo medio de -0,040 Mcal/d y un RMSPE de 0,236 Mcal/d. La regresión del SRNS predicha sobre la observada, para la ingestión de ME tuvo un alto r^2 (0,99) y una pendiente próxima a 1,0 ($O = 1,03$; $P = -0,37$; figura 1).

Figura 1. Comparación de la ingestión diaria de ME observada en cabras adultas y la predicha por el SRNS. (La línea continua representa $Y = X$. Los puntos representan las desviaciones de la línea de equivalencia).



De forma global, el SRNS es capaz de predecir de forma exacta y precisa tanto la digestibilidad de nutrientes, como la ingestión de ME en ovino y caprino.

2.6.- Predicción según el SRNS de los valores en energía y proteína de algunos de los alimentos más utilizados en rumiantes, y su comparación con los datos publicados por FEDNA

Los valores de energía y proteína predichos por el SRNS se han comparado con aquellos que se encuentran recopilados en la base de datos de FEDNA, con el objetivo de destacar las posibles diferencias metodológicas y cuantitativas. Para este propósito, se van a utilizar las dietas y la ingestión de alimento determinadas en el experimento de Rapetti et al. (1997), que hemos descrito y utilizado previamente en la evaluación de la predicción de la ME. En este estudio se utilizaron cabras en lactación de raza Saanen que fueron alimentadas con raciones completas de 3 relaciones forraje:concentrado diferentes (70:30, 50:50, 30:70), en los cuales el concentrado estuvo formado por una mezcla constante de ingredientes (9 alimentos concentrados) y el forraje fue siempre el mismo heno de pradera. Después se realizará una simulación con el SRNS utilizando la misma mezcla de concentrados e ingestión obtenida en el experimento de Rapetti et al., (1997), pero modificando el análisis químico de los concentrados según las tablas FEDNA. Por brevedad, solo se muestran 5 concentrados de los 9 estudiados (cuadro 5). El forraje de la dieta de Rapetti et al. (1997) se ha sustituido en la simulación por 5 henos diferentes tomados (incluyendo su composición química) de las tablas FEDNA (cuadro 6). Como en el SRNS la velocidad de paso del alimento está influenciada por la concentración en CP de la dieta, la simulación se llevó a cabo haciendo las dietas isoproteicas con la incorporación de pequeñas cantidades de urea. En resumen, el trabajo de Rapetti se ha utilizado con el objetivo de tener unos valores de referencia para la ingestión de materia seca y una proporción de ingredientes, mientras que la composición química se ha tomado de las tablas FEDNA.

Esta simulación asume que la ingestión de la dieta no cambia cuando cambia el tipo de forraje. Por supuesto, esto no es cierto, pero esta simplificación nos permite mantener el mismo nivel de alimentación a pesar del cambio en el tipo de forraje utilizado. Solo se han considerado las dietas con una relación forraje concentrado 70/30 y 30/70. En los cuadros 5 y 6 se denotan respectivamente como: SRNS F70; 2,4M, que indica un 70% de forraje en la dieta y un nivel de alimentación de 2,4 veces el mantenimiento (estimado por el SRNS), y que se corresponden con una ingestión de material seca de 2,1 kg/d; y SRNS F30; 3,1M que indica un 30% de forraje en la dieta y un nivel de alimentación de 3,1 veces el

mantenimiento (estimado por el SRNS), y que se corresponde con una ingestión de material seca de 2,53 kg/d. Para el tratamiento SRNS F70; 2,4M, se ha realizado una simulación extra reduciendo la ingestión de materia seca (pero manteniendo constante la proporción entre los ingredientes de la dieta) hasta que se alcanzó el nivel de mantenimiento, el cual tuvo lugar para una ingestión de materia seca de 0,83 kg/d. A este tratamiento lo hemos llamado SRNS F70; 1M. Los resultados para estas comparaciones los vamos a mostrar por separado para energía y proteína.

Cuadro 5.- Valor energético de 5 concentrados extraídos de las tablas FEDNA (2010) calculados con el SRNS para 3 raciones diferentes.

Sistema	Unidades	Maíz USA	Cebada 6 C	Pulpa de remolacha	Hna. Soja 44	Hna. Girasol 30
CP (FEDNA)	% DM	9,43	12,53	11,26	50,06	34,15
EE (FEDNA)	% DM	4,19	2,00	0,89	1,93	2,69
NDF (FEDNA)	% DM	10,24	21,62	47,71	14,22	44,79
ADL (FEDNA)	% DM	1,05	1,33	1,90	0,34	8,40
FEDNA	ME, Mcal/kg DM	3.364	3.115	2.876	3.185	2.189
SRNS F70; 2,4M	ME, Mcal/kg DM	3.124	2.835	2.320	2.910	2.009
SRNS F70; 1,0M	ME, Mcal/kg DM	3.190	2.917	2.445	2.959	2.077
SRNS F30; 3,1M	ME, Mcal/kg DM	3.125	2.836	2.320	2.910	2.009
FEDNA	UFL, UF/kg DM ^a	1,23	1,12	1,03	1,14	0,74
FEDNA	NEL Mcal/kg DM ^a	2.098	1.904	1.744	1.934	1.256
SRNS F70; 2,4M	NEL, Mcal/kg DM	2.012	1.879	1.494	1.826	1.294
SRNS F70; 1,0M	NEL, Mcal/kg DM	2.054	1.826	1.574	1.879	1.338
SRNS F30; 3,1M	NEL, Mcal/kg DM	2.012	1.904	1.494	1.826	1.294

SRNS = Small Ruminant Nutrition System; F70 y F30 = porcentaje de forraje en la dieta; 1M, 2,4 M y 3,1 M = nivel de alimentación en múltiplos de mantenimiento.

^abasado en el sistema INRA (1988); NEL (Mcal) = UFL x 1,7.

2.6.1.- Valor Energético

Los resultados de esta comparación mostraron que para maíz, cebada y pulpa de remolacha la ME y energía neta leche (NEL) obtenida por FEDNA fue mayor que la

predicha por el SRNS, independientemente del nivel de alimentación considerado (cuadro 5). Desafortunadamente, FEDNA no indica el nivel de alimentación ni el método utilizado para estimar estos valores. Para estos alimentos los valores del SRNS están dentro del mismo rango que los que encontramos en el NRC (2001) para alimentos de composición similar en vacuno lechero, alimentado a 3 veces el nivel de mantenimiento. Por el contrario, en las harinas de soja y girasol los valores de ME y NEL del NRC (2001) son marcadamente más elevados que las recomendaciones FEDNA e incluso más elevados que aquellos estimados por el SRNS. Los valores del SRNS son más elevados cuando se estiman a 1M que a niveles de alimentación más altos, debido a la menor velocidad de paso del alimento. De todas formas, las diferencias son bastante pequeñas debido a las altas velocidades de degradación ruminal y digestibilidades intestinales de las fracciones de carbohidratos y proteínas de estos alimentos.

Respecto a los forrajes (cuadro 6), los valores de ME que aparecen en las tablas FEDNA siguieron 2 metodologías, la del NRC (2001) para vacuno lechero y NRC (1996) para vacuno de carne. En la comparación con el SRNS los valores que muestra FEDNA para el heno de ryegrass no fueron consistentes con la composición de los forrajes. De hecho, para el heno de ryegrass de 5° corte FEDNA predijo mayores valores de ME que para el heno de ryegrass de 4° corte, a pesar de la calidad más pobre (mayor contenido en NDF y lignina). Por otro lado, los valores para el heno de alfalfa sí son consistentes con su composición química (cuadro 6). Los valores para los henos de ryegrass y alfalfa según el sistema SRNS son consistentes con las diferencias en la composición química de los alimentos y el nivel de alimentación; los valores para la dieta con 30% de forraje son más bajos, debido al efecto combinado de alto nivel de alimentación y bajo pH ruminal, que en el modelo SRNS reduce la velocidad de degradación de la NDF disponible. Los valores estimados a nivel de mantenimiento para el heno de alfalfa por el SRNS, no reflejan las diferencias en su composición. Esto es porque el tercer corte de alfalfa, comparado con el primer corte, provocan un aumento de la ingestión de NDF (el cual en el modelo SRNS causa un incremento en la velocidad de paso del alimento y así una menor digestibilidad), y un incremento en la ingestión de peNDF (el cual en el SRNS disminuye la velocidad de paso del alimento). Esta es una inconsistencia sobre la cual el sistema SRNS debería probablemente ser revisado.

Considerando NEL, es decir, los valores UFL del INRA convertidos a NEL para poderlos comparar, observamos que son más bajos que los del SRNS y NRC (2001) para vacuno de leche. Los valores del INRA disminuyen a medida que el alimento llega a ser más pobre pero con un descenso más acusado que los valores del SRNS (cuadro 6). Los valores del NRC (2001), obtenidos mediante FEDNA, son inconsistentes con la composición del alimento.

Cuadro 6.- Valor energético de 5 forrajes (henos) extraídos de las tablas FEDNA (2004 on line) calculados con el SRNS para 3 raciones diferentes.

Sistema	Unidades	Ray-grass segunda	Ray-grass cuarta	Ray-grass quinta	Alfalfa primera	Alfalfa tercera
CP (FEDNA)	% DM	14,7	10,6	9,4	18,7	15
Cenizas (FEDNA)	% DM	10,5	8,7	9,2	11,4	10,7
NDF (FEDNA)	% DM	52,7	63,4	70,6	43,6	56
ADL (FEDNA)	% DM	4,45	4,96	8,04	7,51	8,96
FEDNA	ME _{3x} , Mcal/kg DM ^a	2.250	2.110	2.140	2.210	1.910
FEDNA	ME, Mcal/kg DM ^b	2.130	2.060	2.100	2.050	1.840
SRNS F70; 2,4M	ME, Mcal/kg DM	2.127	1.959	1.557	2.022	1.964
SRNS F70; 1,0M	ME, Mcal/kg DM	2.231	2.089	1.685	2.085	2.088
SRNS F30; 3,1M	ME, Mcal/kg DM	2.091	1.919	1.522	1.985	1.910
FEDNA	UFL, UF/kg DM ^c	0,74	0,68	0,66	0,69	0,63
FEDNA	NEL Mcal/kg DM ^c	1.258	1.156	1.122	1.173	1.071
FEDNA	NEL, Mcal/kg DM ^a	1.390	1.290	1.320	1.360	1.150
SRNS F70; 2,4M	NEL, Mcal/kg DM	1.370	1.261	1.003	1.302	1.265
SRNS F70; 1,0M	NEL, Mcal/kg DM	1.437	1.345	1.085	1.343	1.345
SRNS F30; 3,1M	NEL, Mcal/kg DM	1.346	1.236	0.980	1.278	1.230

SRNS = Small Ruminant Nutrition System; F70 y F30 = porcentaje de forraje en la dieta; 1M, 2,4M y 3,1M = nivel de alimentación en múltiplos de mantenimiento.

^a de vacuno lechero NRC(2001).

^b de vacuno de carne NRC (1996).

^c basado en el sistema INRA (1988); NEL (Mcal) = UFL x 1,7.

2.6.2.- Valor Proteico

Los valores de degradabilidad de CP para el maíz y la cebada son similares entre FEDNA y SRNS, aunque los valores de FEDNA son fijos mientras que los del SRNS varían dependiendo de la dieta considerada (Tabla 7). Por el contrario, la degradabilidad ruminal de la CP es inferior en el SRNS que en FEDNA para pulpa de remolacha y harinas de soja y girasol. Estas diferencias son bastante mayores cuando se compara FEDNA con SRNS a niveles de alimentación más altos (cuadro 7).

La proteína metabolizable (MP), que FEDNA e INRA denominan proteína digerida en el intestino (PDI) que escapa a la degradación ruminal (PDIA en los sistemas INRA y FEDNA y que aquí denominaremos MP escape), lo predicen FEDNA y SRNS (alto nivel alimentación) obteniendo valores similares para el maíz, cebada, pulpa de remolacha y harina de soja, mientras que para la harina de girasol los valores de FEDNA son similares a los estimados por SRNS para el nivel de alimentación del mantenimiento (cuadro 7).

Cuadro 7.- Valor proteico de 5 concentrados extraídos de las tablas FEDNA (2010) calculados con el SRNS para 3 raciones diferentes.

Sistema	Unidades	Maíz USA	Cebada 6 C	Pulpa de remolacha	Hna. Soja 44	Hna. Girasol 30
FEDNA	Degradabilidad, % CP	45	65	55	75	76
SRNS F70; 2,4M	Degradabilidad, % CP	43	61	41	60	62
SRNS F70; 1,0M	Degradabilidad, % CP	51	69	44	68	69
SRNS F30; 3,1M	Degradabilidad, % CP	43	61	41	60	62
FEDNA	PDIA, g/kg DM	52	31	49	185	78
SRNS F70; 2,4M	MP escape, g/kg DM	47	43	45	184	110
SRNS F70; 1,0M	MP escape, g/kg DM	40	33	42	144	85
SRNS F30; 3,1M	MP escape, g/kg DM	47	43	45	185	110
FEDNA	PDIME, g/kg DM	43	65	63	58	40
FEDNA	PDIMN, g/kg DM	21	52	33	176	145
SRNS F70; 2,4M	MP bacteria, g/kg DM	110	107	94	49	32
SRNS F70; 1,0M	MP bacteria, g/kg DM	121	116	103	54	36
SRNS F30; 3,1M	MP bacteria, g/kg DM	99	97	84	44	29
FEDNA	PDIE, g/kg DM	95	96	112	243	118
FEDNA	PDIN, g/kg DM	73	83	82	361	223
SRNS F70; 2,4M	MP total, g/kg DM	157	150	139	233	142
SRNS F70; 1,0M	MP total, g/kg DM	161	149	145	198	121
SRNS F30; 3,1M	MP total, g/kg DM	146	140	129	229	139

SRNS = Small Ruminant Nutrition System; F70 y F30 = porcentaje de forraje en la dieta; 1M, 2,4 M y 3,1 M = nivel de alimentación en múltiplos de mantenimiento.

Las diferencias entre los sistemas son mucho mayores cuando comparamos la MP

procedente de bacterias (SRNS) con las estimaciones FEDNA basadas en el PDIMN (proteína microbiana verdadera realmente digerida en el intestino delgado y sintetizada en el rumen a partir de N degradado del alimento, cuando la energía y otros nutrientes no son limitantes) o PDIME (proteína microbiana verdadera realmente digerida en el intestino y sintetizada a partir de la energía disponible en el rumen, cuando el N degradado y otros nutrientes no son limitantes). En particular, los valores FEDNA son más bajos que los del SRNS para maíz, cebada y pulpa de remolacha (alimentos con alta energía y baja proteína). Para los 2 suplementos proteicos, los 2 sistemas dan estimaciones similares cuando los valores del SRNS para la MP bacteriana la comparamos con el PDIME, mientras que para PDIMN los valores FEDNA son muchos más altos (cuadro 7).

Estas diferencias son debidas a la distinta aproximación realizada por los 2 sistemas. El SRNS predice la síntesis de proteína microbiana como una función de los carbohidratos disponibles en el rumen, después el N necesario se estima en proporción a la síntesis microbiana. Si las necesidades en N microbiano se cubren, el exceso de proteína no se utiliza para ninguno otro proceso de síntesis microbiana y se excreta. Si el N disponible en el rumen (incluyendo N reciclado) no es suficiente para cubrir las necesidades microbianas, la síntesis microbiana se reduce proporcionalmente a la escasez de N. En el sistema INRA, por el contrario, mientras PDIME es proporcional a la materia orgánica fermentada en el rumen (por ejemplo, energía disponible en el rumen), de alguna manera similar a la metodología empleada por el SRNS, los valores de PDIMN son directamente proporcionales al N fermentado en el rumen, considerando que la energía no es un factor limitante. Esta es la causa de los altos valores para PDIMN encontrados para las fuentes proteicas.

Considerando las concentraciones totales de MP (suma de proteína no degradada en el rumen y digestible bacteriana), y comparamos FEDNA con SRNS observamos valores más altos para alimentos ricos en energía (maíz, cebada y pulpa de remolacha) cuando MP se compara con ambos PDI: PDIE (suma de PDIA y PDIME) y PDIN (suma de PDIA y PDIMN). Para alimentos ricos en proteína los valores de MP son similares al PDIE pero mucho más bajos que los valores de PDIN.

Los valores de proteína estimados para los henos siguen los mismos patrones que los observados para los concentrados (cuadro 8). Sin embargo, el contenido más bajo en energía y proteína de los henos, comparado con los concentrados, hace que las diferencias entre los dos sistemas sea más reducida.

Cuadro 8.- Valor proteico de 5 forrajes (henos) extraídos de las tablas FEDNA (2004 on line) calculados con el SRNS para 3 raciones diferentes.

Sistema	Unidades	Ray-grass segunda	Ray-grass cuarta	Ray-grass quinta	Alfalfa primera	Alfalfa tercera
FEDNA	Degradabilidad, % CP	70	60	60	75	70
SRNS F70; 2,4M	Degradabilidad, % CP	63	60	49	63	52
SRNS F70; 1,0M	Degradabilidad, % CP	66	63	53	68	57
SRNS F30; 3,1M	Degradabilidad, % CP	61	59	48	61	50
FEDNA	PDIA, g/kg DM	39	28	25	48	40
SRNS F70; 2,4M	MP escape, g/kg DM	41	32	37	46	38
SRNS F70; 1,0M	MP escape, g/kg DM	36	28	34	37	31
SRNS F30; 3,1M	MP escape, g/kg DM	43	33	38	51	40
FEDNA	PDIME, g/kg DM	47	46	45	43	41
FEDNA	PDIMN, g/kg DM	53	38	34	65	53
SRNS F70; 2,4M	MP bacteria, g/kg DM	73	64	46	67	68
SRNS F70; 1,0M	MP bacteria, g/kg DM	78	70	52	71	73
SRNS F30; 3,1M	MP bacteria, g/kg DM	64	59	44	54	58
FEDNA	PDIE, g/kg DM	86	74	70	91	81
FEDNA	PDIN, g/kg DM	92	66	59	113	93
SRNS F70; 2,4M	MP tot, g/kg DM	114	96	83	113	106
SRNS F70; 1,0M	MP tot, g/kg DM	114	98	86	108	104
SRNS F30; 3,1M	MP tot, g/kg DM	107	92	82	105	98

SRNS = Small Ruminant Nutrition System; F70 y F30 = porcentaje de forraje en la dieta; 1M, 2,4 M y 3,1 M = nivel de alimentación en múltiplos de mantenimiento.

Los aportes totales diarios de MP o PDI, como los predice SRNS o FEDNA, los hemos comparado en el cuadro 9. Para los valores de FEDNA, basados en el sistema INRA, se han dado 2 valores: PDIE y PDIN. Como sugiere INRA, el valor de PDI actual de una dieta se corresponde con el menor de los dos valores. La comparación muestra que para dietas con el 70% de forrajes, los valores de PDIE de FEDNA son más bajos que sus

valores en PDIN. Esto fue debido a que las dietas evaluadas han tenido siempre un balance positivo en el rumen, basándonos en las estimaciones del SRNS.

Las predicciones del SRNS son muy similares a los valores de PDIN de FEDNA, los cuales están estimados asumiendo que la síntesis microbiana en el rumen es proporcional al N de la dieta degradado en el rumen y, que la energía y otros nutrientes no son limitantes. La única excepción la encontramos en el heno de ryegrass más pobre (ryegrass quinta), para el cual las predicciones del SRNS son intermedias entre el PDIE y el PDIN de FEDNA. Por tanto, considerando los valores de PDIE (que son los más bajos) y que serían los empleados en dietas equilibradas con FEDNA, al compararlos con las dietas con el 70% de forraje según las predicciones del SRNS, observamos que para la proteína digerida en el intestino son siempre más elevados (entre el 13% y el 24%) que aquellos obtenidos por FEDNA.

Cuadro 9.- Aporte total diario de MP o PDI predichos por FEDNA (2004, 2010) y SRNS para dietas con diferente relación forraje concentrado y distinto nivel de alimentación. Estos valores representan, para cada columna, las predicciones para dietas que incluyen el forraje de la columna y como concentrado la mezcla de ingredientes de Rapetti et al. (1997).

Sistema	Unidades	Ray-grass segunda	Ray-grass cuarta	Ray-grass quinta	Alfalfa primera	Alfalfa tercera
Dieta F70; 2,4M						
FEDNA	PDIE, g/d	217	200	194	225	210
FEDNA	PDIN, g/d	256	250	252	260	260
SRNS	MP total, g/d	269	243	226	267	256
Dieta F70; 1,0M						
FEDNA	PDIE, g/d	87	80	78	90	84
FEDNA	PDIN, g/d	102	100	101	104	104
SRNS	MP total, g/d	106	97	90	102	100
Dieta F30; 3,1M						
FEDNA	PDIE, g/d	337	328	325	341	333
FEDNA	PDIN, g/d	351	346	346	367	366
SRNS	MP total, g/d	370	366	364	361	365

SRNS = Small Ruminant Nutrition System; F70 y F30 = porcentaje de forraje en la dieta; 1M, 2,4 M y 3,1 M = nivel de alimentación en múltiplos de mantenimiento.

Para las dietas con el 30% de forraje, los valores de PDIE de FEDNA son solo ligeramente más bajos que sus PDIN (cuadro 9). Los valores del SRNS son más altos tanto para PDIE como PDIN con ryegrass, mientras que los valores SRNS son similares a los valores de PDIN para dietas basadas en alfalfa. En general, considerando PDIE como valor de referencia de FEDNA (pues es el valor más bajo), las predicciones de proteína digerida en el intestino del SRNS en dietas con un 30% de forraje, son más altas que las obtenidas por FEDNA (entre un 6% y 12%).

¿Cuál es la aproximación o metodología correcta cuando utilizamos FEDNA o SRNS? es ciertamente una respuesta difícil que podríamos someter a una larga discusión. Las diferencias son lo suficientemente grandes en algunos casos como para sugerir la realización de más profundas investigaciones y, posiblemente mediciones experimentales específicas para evaluar la exactitud y precisión de los diferentes sistemas.

3.- CONCLUSIONES

El SRNS es un sistema de alimentación específicamente desarrollado para pequeños rumiantes y que utiliza el entorno creado por el CNCPS. Es el único mecanicista, de los sistemas existentes para pequeños rumiantes, y por ello tiene capacidad de explicar la estructura del sistema dividiéndolo en sus componentes más importantes y analizando su comportamiento global e interacciones. EL SRNS ha estado sujeto a una extensiva evaluación, la cual ha permitido apreciar su alta exactitud, así como identificar sus limitaciones y las prioridades en investigación para su futuro desarrollo. Por lo tanto, aún le quedan muchos aspectos a desarrollar e investigar. En términos de aporte de nutrientes y valoración de alimentos, las áreas más importantes para el futuro desarrollo del SRNS son la predicción del pH del rumen y, el efecto que sobre la valoración de alimentos tiene la escasez de N en el rumen. Otras prioridades son la evaluación de la predicción del valor de MP de los alimentos y el desarrollo de un subámoselo para aminoácidos específicamente adaptado a pequeños rumiantes.

Otro objetivo importante es el desarrollo de un banco de materias primas adaptado para los alimentos de la cuenca Mediterránea y sus condiciones climáticas y, el desarrollo y evaluación del modelo para razas y sistemas de producción locales.

A este respecto, los autores de esta publicación intentan trabajar en común en esta dirección.

4.- REFERENCIAS

- ARC (1980) *The nutrient requirements of ruminant livestock*. Tech. Rev. Agric. Res. Council Working Party. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, UK.
- AGUILERA, J.F., PRIETO, C. y FONOLLÁ, J. (1990) *British J. Nutr.* 63, 165-175.
- CANNAS, A. (2000) *Sheep and cattle nutrient requirement systems, ruminal turnover, and adaptation of the Cornell net carbohydrate and protein system to sheep*. Ph.D. dissertation, Cornell University, Ithaca, NY.
- CANNAS, A. (2004) En: *Dairy Sheep Nutrition*. Pulina, G. (ed.) CAB International, Wallingford, Oxon, UK. pp: 31-49.
- CANNAS, A. y VAN SOEST, P.J. (2000) En: *Modeling Nutrient Utilization in Farm Animals*. McNamara, J. P., France, J., Beever, D. E. (Eds.), CABI Publishing, Wallingford, Oxon, UK. pp: 49-62.
- CANNAS, A., ATZORI, A.S., BOE, F. y TEIXEIRA, I.A.M.A. (2008) En: *Dairy Goats, Feeding and Nutrition*. Cannas, A., Pulina, G. (Eds.), CAB International, Cambridge, MA. pp: 118-146.
- CANNAS, A., TEDESCHI, L. O., ATZORI, A.S. y FOX, D.G. (2006) En: *Nutrient Digestion and Utilization in Farm Animals: Modelling Approaches*. Kebreab, E., Dijkstra, J., Bannink, A., Gerrits, W.J.J., France, J. (eds) CAB International, Wallingford, UK. pp: 99-113.
- CANNAS, A., TEDESCHI, L.O., ATZORI, A.S. y FOX, D.G. (2007a) *Ital. J. Anim. Sci.* 6 (Suppl. 1), 609-611.
- CANNAS, A., TEDESCHI, L.O., ATZORI, A.S. y FOX, D.G. (2007b) En: *Annual Meeting of the Brazilian Society of Animal Science*, 44. Jaboticabal, SP, Brazil, 1-3.
- CANNAS, A., TEDESCHI, L.O., ATZORI, A.S. y FOX, D.G. (2010) En: *Modeling Nutrient Utilization in Farm Animals*, J. Dijkstra, (Ed), CABI Publishing, Cambridge, MA. pp: 263-272.
- CANNAS, A., TEDESCHI, L.O., FOX, D.G., PELL, A.N. y VAN SOEST, P.J. (2004) *J. Anim. Sci.* 82, 149-169.
- CANNAS, A., TEDESCHI, L.O. y FOX, D.G. (2007c) En: *Energy and protein metabolism and nutrition*. Ortigues-Marty I. (ed). EAAP publication no. 124, 569-570.
- CSIRO (1990) *Feeding Standards for Australian Livestock. Ruminants*. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Melbourne, Australia.
- FEDNA (2004) *Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Tablas FEDNA de valor nutritivo de forrajes y subproductos húmedos*. S. Calsamiglia, A. Ferret y A. Bach. 70 pp. También disponible *on line*: <http://www.fundacionfedna.org/>.
- FEDNA (2010) *Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Tablas de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos*. 3ª Edición. C. de Blas, G.G. Mateos y P. García-Rebollar. 502pp.

- FOX, D.G., TEDESCHI, L.O., TYLUTKI, T.P., RUSSELL, J.B., VAN AMBURGH, M.E., CHASE, L.E., PELL, A.N. y OVERTON, T.R. (2004) *Anim. Feed Sci. Technol.* 112, 29-68.
- INRA (1988) *Alimentation des bovins ovins et caprins*. Ed. R. Jarrige. INRA, Paris.
- INRA (2007) *Alimentation des bovins, ovins et caprins. Besoins des animaux. Valeurs des aliments*. Tablas INRA 2007. Editions Quae, Versailles, France.
- NRC (1996) *Nutrient Requirements of Beef Cattle*, 7th edn., National Academy Press, Washington, DC.
- NRC (2001) *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*, 7th edn., National Academy Press, Washington, DC.
- NRC (2007) *Nutrient requirements of small ruminants. Sheep, goats, cervids and new world camelids*. National Academy Press, Washington D.C.
- NGWA, A.T., DAWSON, L.J., PUCHALA, R., DETWEILER, G., MERKEL, R.C., TOVAR-LUNA, I., SHALU, T., FERRELL, C.L. y GOETSCH, A.L. (2007a) *Small Rumin. Res.* 73, 13-26.
- NGWA, A.T., DAWSON, L.J., PUCHALA, R., DETWEILER, G., MERKEL, R.C., TOVAR-LUNA, I., SHALU, T., FERRELL, C.L. y GOETSCH, A.L. (2007b) *Small Rumin. Res.* 73, 27-36.
- PULINA, G., SERRA, A., CANNAS, A. y ROSSI, G. (1989) *Atti della Società Italiana delle Scienze Veterinarie* 43, 1867-1870.
- PULINA, G., CANNAS, A., SERRA, A. y VALLEBELLA, R. (1992) *Atti della Società Italiana Scienze Veterinarie* 45, 1779-1781.
- RAPETTI, L., TAMBURINI, A., CROVETTO, G.M., GALASSI, G. y SUCCI, G. (1997) *Zoot. Nutr. Anim.* 23, 317-328.
- RAPETTI, L., CROVETTO, G.M., GALASSI, G., SANDRUCCI A., SUCCI, G., TAMBURINI, A. y BATTELLI, G. (2002) *Ital. J. Anim. Sci.* 1, 43-53.
- RAPETTI, L., BAVA, L., TAMBURINI, A. y CROVETTO, G.M. (2005) *Ital. J. Anim. Sci.* 4, 71-83.
- RUSSEL, A. J. F., DONEY, J. M. y GUNN, R.G. (1969) *J. Agric. Sci., Camb.* 72, 451-454.
- TEDESCHI, L.O., FOX, D.G. y RUSSELL, J.B. (2000) *J. Anim. Sci.* 78, 1648-1658.
- TEDESCHI, L.O., FOX, D.G. y GUIROY, P.J. (2004) *Agric. Syst.* 79, 171-204.
- TEDESCHI, L.O., CANNAS, A. y FOX, D.G. (2010) *Small Rumin. Res.* 89, 174-184.
- VAN SOEST, P.J., MCCAMMON-FELDMAN B. y CANNAS, A. (1994) En: *Proceedings of the 56th Cornell Nutrition Conference*, Ithaca, NY. pp: 95-104.

FEDONA