

UTILIZACIÓN DE ADITIVOS EN RUMIANTES: VITAMINAS Y AMINOÁCIDOS PROTEGIDOS

Celina Torre¹ y Gerardo Caja²

¹Agribrands Europa-España, Barcelona.

²Producción Animal, Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra.

1.- INTRODUCCIÓN

Las características propias de la fisiología digestiva de los rumiantes adultos hacen que, prácticamente la totalidad de los alimentos ingeridos o de las sustancias administradas vía oral, se vean sometidos a la acción digestiva ruminal (hidrólisis, biohidrogenación y fermentación microbiana, principalmente) antes de ser digeridos en el abomaso y absorbidos en el intestino. Estas características aportan grandes beneficios al animal en condiciones de explotación extensivas o próximas a las naturales pero, por el contrario, impiden la utilización directa de los nutrientes, entrando en competición las necesidades del animal con las de la población microbiana. Los principales factores que condicionan la intensidad de la acción digestiva ruminal son la naturaleza del producto y el tiempo de permanencia en el retículo-rumen. Ambos aspectos son plenamente aplicables al caso de los aditivos utilizados en la alimentación de los rumiantes, y en particular, al caso de las vitaminas y aminoácidos (AA).

El tiempo que se ven sometidos los productos ingeridos a la acción ruminal es variable y puede verse modificado por numerosos factores. Entre ellos destacan los que se refieren a las características del producto (forma de presentación y estado físico, tamaño de partícula, solubilidad, etc...), sus condiciones de distribución (nivel de alimentación, número de comidas al día, *top-feeding*, incorporación al concentrado, raciones completas mezcladas, granulación, etc...) y del propio animal (edad, estado fisiológico, estado sanitario, etc...). No debe olvidarse, sin embargo, que pueden producirse importantes interacciones con otros componentes de la ración, tanto durante la preparación y conservación de los alimentos (molido, granulado, extrusionado, ensilado, henificación, deshidratación, etc...), como en el proceso digestivo. Estos últimos aspectos son especialmente importantes en el caso de aditivos o nutrientes que se utilizan en pequeñas cantidades y cuya composición y propiedades son muy específicas.

Aunque la respuesta a la utilización de un determinado nutriente o aditivo debería esperarse que siguiese la ley biológica general de los rendimientos decrecientes, con una fase de aumento (básicamente de tipo lineal) y otra de saturación de la respuesta (de tipo cuadrático), en los rumiantes el proceso se ve claramente modificado por las condiciones fermentativas ruminales. Resulta así que, en muchos casos, aún elevando las dosis administradas del nutriente o aditivo a valores muy altos, no se consigue un aumento significativo del mismo en sangre o en el intestino, lo que es consecuencia de su degradación ruminal. Para paliar estos inconvenientes se han desarrollado distintos métodos de protección o *by-pass* que permiten que los nutrientes pasen el rumen sin ser alterados (o en pequeña cuantía) y así puedan ser digeridos en el abomaso y absorbidos en el intestino. Esta problemática afecta plenamente a las vitaminas y AA, objeto de esta revisión. En este sentido y para ambos casos, se analizan y valoran la degradación producida en el rumen, las necesidades de suplementación en las raciones normalmente utilizadas por los rumiantes, así como el interés y posibilidades de una suplementación específica en forma protegida.

2.- VITAMINAS

2.1.- Necesidades vitamínicas de los rumiantes y factores de variación

Los rumiantes domésticos para desarrollar correctamente sus funciones vitales y productivas, como es sabido, tienen necesidad de todas las vitaminas en las mismas proporciones que el resto de los mamíferos. Sin embargo, dadas las características especiales de su digestivo, muchas de las vitaminas hidrosolubles (especialmente las del grupo B) y algunas liposolubles (vitamina K) pueden ser sintetizadas en cantidades superiores a las necesidades por los microorganismos del rumen (cuadro 1).

Cuadro 1.- Síntesis de vitaminas hidrosolubles y grado de cobertura de las necesidades vitamínicas en ganado bovino (Huber, 1988)

Vitamina	Necesidades (mg/d)	Síntesis ruminal (mg /)		
		/ 6h	/ 24h	Cobertura necesidades
Riboflavina (B ₂)	32	35	140	440 %
Niacina	182	219	876	480 %
Ác. pantoténico	117	43	172	150 %

Por este motivo, a efectos prácticos, la mayor parte de las raciones o piensos para rumiantes se recomienda que sean suplementadas fundamentalmente en vitaminas liposolubles, principalmente A, D₃ y E. Suele asumirse así que, las necesidades en otras vitaminas son cubiertas por la absorción de las producidas por los microorganismos del rumen, como es el caso de las: B₁ (tiamina), B₂ (riboflavina), Niacina (B₃ o ácido

nicotínico), B₆ (piridoxina), B₁₂ (cianocobalamina), Biotina, Colina, Ácido fólico (folacina), Ácido pantoténico y K, o por las sintetizadas en los tejidos del propio animal: C (ácido ascórbico), etc...

Sin embargo, existen también evidencias y recomendaciones (INRA, 1988; NRC, 1989) de la necesidad de suplementar ciertas vitaminas (B₁, B₁₂, Niacina y posiblemente Colina) en algunas condiciones particulares, tales como: rumiantes jóvenes o sometidos a dietas lácteas, situaciones de deficiencia en Co, raciones ricas en alimentos muy fermentescibles (melazas, tubérculos y raíces, cereales, especialmente cuando han sido finamente molidos o tratados al calor) o ricas en sulfatos (*i.e.* pulpas de remolacha muy sulfatadas), intoxicaciones o empleo de alimentos enmohecidos y, especialmente, cuando se adicionan productos conservantes antimicrobianos o antibióticos.

Por otro lado, Zinn et al. (1987) indican que, en el caso de terneros de cebo (*feed-lot*) al inicio del periodo de engorde, el ác. pantoténico y el ác. fólico pueden también ser limitantes en el crecimiento. No obstante, señalan igualmente, que no deben esperarse respuestas a la suplementación oral de estas vitaminas dada su elevada degradabilidad en el rumen.

2.2.- Estabilidad de las vitaminas sintéticas

La estabilidad de las vitaminas sintéticas, ya sea en mezclas como correctores vitamínico-minerales o en piensos compuestos elaborados, tiene especial importancia con vistas a su suplementación práctica. Los principales factores estresantes que afectan la estabilidad de las vitaminas durante el proceso de fabricación de piensos compuestos, o durante su posterior almacenamiento, son de tipo físico (temperatura, humedad, luz, presión, fuerza de fricción) o químico (pH, reducción-oxidación, presencia de microminerales). En el cuadro 2, elaborado a partir de los datos de Coelho (1991) se ha resumido su efecto sobre las principales formas de vitaminas sintéticas utilizadas en alimentación animal.

Como puede observarse en el cuadro 2, la presencia de microminerales que actúan como catalizadores, el calor y el pH, resultan de gran importancia. La oxidación, consecuencia de la acción de ácidos poli-insaturados, peróxidos y minerales, tiene una gran importancia durante el proceso de almacenamiento. En particular, las vitaminas liposolubles resultan muy sensibles en medios ácidos y las hidrosolubles en medios básicos. Algunas vitaminas son especialmente inestables, mientras que otras son más estables. La extrusión (alta temperatura, alta presión y humedad) es el proceso más agresivo para las vitaminas. En general, sin embargo, las vitaminas son más estables en los piensos elaborados que en los premix vitamínico-minerales, lo que es consecuencia de una mayor dilución de los minerales y de los efectos barrera producidos por algunas formas de presentación (granulado, piensos multipartícula, etc...).

**XIV Curso de Especialización
AVANCES EN NUTRICIÓN Y ALIMENTACIÓN ANIMAL**

Aunque esta clasificación se refiere a las vitaminas en los procesos de fabricación de piensos compuestos y no a su estabilidad en el rumen, algunas conclusiones importantes pueden extraerse respecto a las condiciones que hacen más inestables a cada una de ellas, favoreciendo así su degradación. A título de ejemplo, las vitaminas liposolubles en condiciones de pH neutro en el rumen tenderán a ser resistentes, mientras que a pH ácido resultarán más sensibles a la degradación. Asimismo, el efecto de los microminerales como catalizadores de su oxidación-reducción resulta también más marcado. En otros casos, como el de las hidrosolubles B₁, B₂, C y Colina, la resistencia es mayor en medio ácido que básico. Especialmente resistente, en todos los casos, resulta la Niacina (B₃).

Cuadro 2.- Efecto de distintos factores estresantes sobre la estabilidad de las vitaminas.

Vitamina y presentación	Físicos				Químicos		pH		
	Hum.	Luz	Calor	Micro.	Ox.	Red.	<7	=7	>7
Liposolubles:									
A embebida	S	SS	SS	S	S	R	S	R	R
D embebida	S	SS	SS	S	S	R	S	R	R
E acetato	R	R	R	SS	R	R	SS	R	S
K bisulfatos	SSS	S	SS	SSS	R	SS	SS	R	S
Hidrosolubles:									
B ₁ clorhidrato	S	R	S	SS	S	S	R	SS	S
B ₁ mononitrato	R	R	SS	SS	SS	SS	R	SS	S
B ₂	R	SS	R	R	R	SS	R	SS	S
Niacina (B ₃)	R	R	R	R	R	R	R	R	R
Niacinamida	S	R	R	R	R	R	SS	R	SS
B ₆	R	S	R	SS	R	R	R	SS	S
B ₁₂	R	S	SS	SS	SS	S	SS	R	SS
Pantotenato Ca	S	R	SS	R	R	R	S	SS	R
Ác. fólico	R	SS	SS	S	SS	SS	S	R	SS
Biotina	R	R	S	R	R	R	SS	R	R
Ac. ascórbico (C)	R	SS	R	SSS	SS	R	R	R	S
Colina cloruro	SSS	R	R	R	R	R	R	R	SS

R= Resistente; S= Sensible, SS= medianamente sensible, SSS= muy sensible.

2.3.- Vitaminas hidrosolubles

2.3.1.- Degradación y síntesis de vitaminas hidrosolubles en el rumen

La información sobre la degradación ruminal de las vitaminas hidrosolubles administradas oralmente es muy escasa. La primera referencia disponible corresponde al

trabajo realizado por Knight y colaboradores que en 1940 indicaron que el ácido ascórbico se destruye completamente en el rumen en menos de 2 horas. Especial interés tiene el trabajo realizado por Zinn et al. (1987), más recientemente, en terneros de engorde a diferentes niveles de suplementación vitamínica, de acuerdo con las necesidades establecidas por el NRC en 1979 (cuadro 3).

Cuadro 3.- Recuperación de vitaminas hidrosolubles en el duodeno de terneros de carne según el nivel de suplementación en el pienso (Zinn et al., 1987)

Vitamina	Nivel de suplementación (mg/d)			Efecto (<i>P</i> <)
	0	x	10x	
Tiamina (B ₁)				
- ingerida	9,8	29,8	209,8	
- duodeno	26,2 ^a	25,3 ^a	130,7 ^b	0,01
Riboflavina (B ₂)				
- ingerida	37,6	77,6	437,6	
- duodeno	39,2	35,5	43,8	NS
Niacina (B ₃)				
- ingerida	67,0	267,0	2067,0	
- duodeno	277,4	207,5	400,9	NS
Piridoxina (B ₆)				
- ingerida	14,6	34,6	214,6	
- duodeno	29,0 ^a	34,1 ^a	230,9 ^b	0,01
Ác. pantoténico				
- ingerida	24,5	224,5	2024,5	
- duodeno	11,0 ^c	15,3 ^c	452,8 ^d	0,05
Ác. fólico				
- ingerida	1,2	11,2	101,2	
- duodeno	1,1	1,2	3,8	NS
Biotina				
- ingerida	1,2	3,2	21,2	
- duodeno	3,6 ^a	3,5 ^a	30,1 ^b	0,01
Cianocobalamina (B ₁₂)				
- ingerida	0,1	0,2	2,0	
- duodeno	10,4	9,2	10,6	NS
Ác. ascórbico (C)				
- ingerida	0	100,0	1000,0	
- duodeno	0	0	0	NS

^{a,b,c,d} = letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas entre tratamientos.

Como puede observarse en el cuadro, un bajo nivel de suplementación no incrementó significativamente el flujo de vitaminas al duodeno en ningún caso. Por el contrario, una fuerte suplementación (dosis x 10) fue capaz de aumentar el flujo al duodeno de B₁, B₆, Ác. pantoténico y Biotina, pero no de Niacina, Ác. fólico, B₁₂ y C, que se vieron escasamente modificadas. A partir de estos datos puede calcularse la degradabilidad de las vitaminas utilizadas, así como también la contribución de la población microbiana (cuadro 4).

Cuadro 4.- Degradabilidad ruminal y síntesis microbiana de vitaminas hidrosolubles en terneros de cebo (elaborado a partir de datos de Zinn et al., 1987).

Vitamina	Degradabilidad (%)	Síntesis (mg/kg MOD¹)
Tiamina (B ₁)	48	8.3
Riboflavina (B ₂)	99	15.2
Niacina (B ₃)	94	107.2
Piridoxina (B ₆)	0	5.6
Ác. pantoténico	78	2.2
Ác. fólico	97	0.4
Biotina	0	0.8
Cianocobalamina (B ₁₂)	90	4.1
Ác. ascórbico (C)	100	0

¹ MOD = Materia orgánica digestible.

A partir de estos datos puede concluirse que:

- B₆ y Biotina son vitaminas que resultan muy estables en el rumen.
- Tiamina (B₁) presenta una degradabilidad intermedia.
- Las restantes vitaminas hidrosolubles se degradan casi en su totalidad en el rumen (B₂, Niacina, Ác. pantoténico, Ác. fólico, B₁₂ y C).

Tal como se ha indicado anteriormente, deben esperarse diferencias en la síntesis de vitaminas del grupo B según el tipo de cereal utilizado en las raciones de rumiantes. En general, se observa una mayor síntesis de Tiamina (B₁) con harina de sorgo que con harinas de maíz o cebada. Por otro lado, el aumento de la materia orgánica digestible en el rumen favorece la síntesis de vitaminas del grupo B, de acuerdo con lo calculado por Zinn et al. (1987) y recogido en el cuadro 4. Análogamente, el almidón, en cantidades moderadas, estimula la síntesis de vitaminas hidrosolubles, mientras que la fibra estimula la de Riboflavina (B₂).

Estudios realizados en condiciones *in vitro* han señalado que la suplementación con S, o el exceso de sulfatos, tiende a inhibir la síntesis de Tiamina (B₁) y Ác. pantoténico y, por el contrario, estimular la síntesis de Riboflavina (B₂). Pese a los efectos antimicrobianos esperables, Miller et al. (1986) señalaron que la adición de Clortetraciclina y Monensina a raciones de terneros de engorde con una elevada proporción de concentrado, produjo una escasa disminución de síntesis de vitaminas del grupo B.

2.3.2.- Digestión y absorción de las vitaminas hidrosolubles

La pared del rumen parece ser permeable a algunas vitaminas del grupo B aunque, a efectos prácticos, la absorción ruminal tiene escasa importancia ya que las vitaminas sintetizadas se encuentran en el interior de los cuerpos microbianos (Hungate, 1966) y no estarán disponibles hasta la rotura de su membrana. Por el contrario, otros trabajos indican que la pared del rumen es impermeable a la mayor parte de las vitaminas (Jean-Balir y Alves de Oliveira, 1994). En cualquier caso, la mayor parte de las vitaminas sintetizadas por los microorganismos del rumen se libera por acción de la digestión abomasal y, de esta forma, quedan libres para ser absorbidas en el intestino delgado, fundamentalmente en el duodeno proximal.

2.3.3.- Efectos de la suplementación con vitaminas hidrosolubles

Las respuestas disponibles a la suplementación con vitaminas del grupo B en la bibliografía son escasas y en muchos casos contradictorias. Esto se debe principalmente a la gran variabilidad de las condiciones de funcionamiento del rumen y de las necesidades del animal en función de su estado productivo.

Por otro lado, las propias características y propiedades de cada una de las vitaminas, hacen que se presente igualmente una gran variabilidad, siendo difícil generalizar. En este sentido, debe señalarse el trabajo realizado por Zinn et al. (1987) en terneros de carne anteriormente comentado, en el que no observaron ninguna mejora en los rendimientos productivos de terneros de engorde o en la digestibilidad (materia orgánica, proteína y fibra) de la ración, al suplementar por vía oral con vitaminas del grupo B. Sin embargo, sí observaron una tendencia a disminuir la morbilidad de los procesos patológicos, aunque de forma no significativa. Sus resultados, sin embargo, pueden no ser totalmente generalizables a otras situaciones productivas en rumiantes.

- Niacina (ác. nicotínico o B₃):

La suplementación vitamínica hidrosoluble más estudiada en rumiantes corresponde al caso de la Niacina en vacas lecheras. Aunque los resultados obtenidos son muy variables, y según las conclusiones de Zinn et al. (1987) resulta una vitamina muy degradada en el rumen, el NRC (1989) concluye que en muchos casos la síntesis

microbiana no resulta suficiente para cubrir las necesidades de las vacas lecheras de alta producción y es necesaria su suplementación.

Existe modulación de la síntesis de Niacina según la cantidad que llega al rumen, de forma que la síntesis es mayor cuando las cantidades ingeridas son bajas y viceversa. La absorción de Niacina a través de la pared ruminal es posible, aunque no resulta importante ya que sólo un 3-7% se encuentra en el líquido ruminal y el resto se localiza fundamentalmente en los cuerpos bacterianos. Por otro lado, la nicotinamida se absorbe a través de la pared ruminal más rápidamente que el ácido nicotínico, pero como la amida se convierte muy rápidamente en el ácido, no resulta factible en la práctica aumentar la absorción ruminal (Campbell et al., 1994). Estos mismos autores indican que cerca del 17% de la Niacina suplementada por vía oral llega al duodeno, resultando posible aumentar la cantidad de vitamina disponible para las vacas.

En este sentido, el aporte de Niacina a vacas lecheras es capaz de aumentar la concentración de esta vitamina en el rumen y la cantidad total absorbida en el intestino delgado. Los efectos encontrados en la bibliografía han sido resumidos por Bieber-Wlaschny (1988), tal como se recoge en el cuadro 5, que recomienda una suplementación de 3-6 g/d para optimizar la producción de vacas lecheras. Valores semejantes son recomendados por Erdman (1992). Los valores recomendados por Hutjens (1992) son más elevados, situándose entre 6-12 g/d, aunque no parecen estar justificados. Los principales efectos de la Niacina son el aumento de la producción de leche (Jaster et al., 1983) y la mejora del contenido en grasa (Belibasakis y Tsirgogianni, 1996) y/o proteína de la leche (Horner et al., 1985, 1986; Cervantes et al., 1996).

Cuadro 5.- Efectos de la suplementación de vacas lecheras con Niacina en la producción y composición de la leche según diversos autores (Bieber-Wlaschny, 1988).

Niacina (g/d)	Vacas (nº)	Producción leche (kg/d)	Efecto (%)	Observaciones
3	56	21,2	0 a +3	Aumentos en % de grasa y proteína.
5	-	27,9	+3 a +4	Ensayo a mitad de lactación.
"	130	24,6-30,6	0 a +10	-
6	32	25,3	+1 a +6	Mayor persistencia.
"	508	30,1	+2	Menor incidencia de cetosis.
"	-	-	0	Vacas muy flacas.
"	300	30,2	+5	Vacas en condición corporal normal.
"			-13	Vacas flacas.
"	24	23,1	+3	Fuerte aumentos en % grasa y proteína.
"	240	24,5	-5	Ración con 15% de semilla algodón.
			+3	Ensayo a mitad de lactación.
12	8	30,1	+13	Vacas con problemas de cetosis.

Los efectos son más marcados al principio de la lactación (Jaster et al., 1983) y en condiciones de estrés por calor (Belibasakis y Tsirgogianni, 1996), tal como recoge el cuadro 6, por lo que puede ser de utilidad en las condiciones de nuestro país.

Cuadro 6.- Efectos del empleo de Niacina en situaciones de estrés por calor ($32,5\pm 0,3$ °C) en vacas lecheras (Belibasakis y Tsirgogianni, 1996).

Parámetro	Control	Niacina¹	Efecto (P<)
Ingestión (kg MS/d)	17,2	17,3	NS
Leche (kg/d)	23,3	24,4	NS
Leche 4% (kg/d)	21,4	24,0	0,01
Grasa (%)	3,46	3,89	0,01
Grasa (kg/d)	0,81	0,95	0,01
Proteína (%)	3,23	3,24	NS
Proteína (kg/d)	0,75	0,79	NS
Lactosa (%)	4,75	4,87	NS
Condición corporal	2,9	3,1	NS

¹: 10 g/d.

El efecto en condiciones de elevadas temperatura resulta beneficioso para las vacas, que ven reducida su temperatura corporal, aunque en ocasiones, la producción de leche no aumenta de forma significativa (Di Costanzo et al., 1997). El aumento en grasa de la leche parece debido a una mejor digestión en el rumen de la FND, con aumento de la producción de ácido acético. Sin embargo, puede ser explicado por un aumento de la Niacina disponible que se utiliza en la síntesis de NADP, enzima que interviene en la síntesis de ácidos grasos en la glándula mamaria, tal como justifican Belibasakis y Tsirgogianni (1996).

Doreau y Ottou (1996) han indicado una mayor degradabilidad de la materia seca ingerida en el rumen y un aumento de los protozoos al suplementar con Niacina, pero la digestibilidad no fue modificada. También se ha observado que se puede atenuar la disminución del contenido en proteína de la leche cuando se utilizan raciones con alto contenido en grasa (Cervantes et al., 1996) y disminuir los valores de urea en sangre (Belibasakis y Tsirgogianni, 1996).

En este sentido, Cervantes et al. (1996) concluyen que la adición de un 3% de Nicotinamida durante la fabricación de jabones cálcicos de ácidos grasos de cadena larga, utilizados como suplemento lipídico en rumiantes, no destruye la vitamina y enriquece el jabón. Sin embargo, pese a su incorporación en el jabón la Nicotinamida

resulta completamente soluble en agua o líquido ruminal en menos de 6 horas, por lo que su degradabilidad en el rumen resulta escasamente mejorada.

En el caso de terneros de engorde, Huber (1988) señala que la suplementación con Niacina mejora la adaptación de los terneros al inicio del proceso de cebo (*feed-lot*).

Como conclusión, todo parece indicar la ventaja de suplementar con 3-6 mg de Niacina por vaca y día, especialmente al principio de la lactación en vacas de alta producción y en verano. En las condiciones actuales la protección no parece resultar, sin embargo, necesaria ya que la suplementación oral resulta eficaz para producir la respuesta del animal.

- Tiamina (B₁):

La suplementación con B₁ merece una mención especial debido a la aparición de una patología específicamente relacionada con ella, conocida como NCC (necrosis cerebro cortical) o poliencefalomalacia, que puede ser consecuencia de una incorrecta alimentación. De acuerdo con lo señalado por Zinn et al. (1987), su degradación ruminal es de tipo medio y la síntesis microbiana elevada (cuadro 4). La síntesis de B₁ en el rumen se correlaciona con la síntesis de proteína microbiana (Hoeller et al., 1985), por lo que los factores que afectan a la síntesis de ésta puede considerarse que actúan también sobre la B₁.

En el rumen existen mecanismos de modulación de la síntesis microbiana de B₁ y de destrucción de la preformada. Resulta así que cuando el aporte alimenticio es bajo, la síntesis ruminal puede ser 20-25 veces superior a la cantidad ingerida, mientras que en raciones ricas en B₁ el balance puede ser negativo. Se sabe además que la pared del rumen es impermeable a la absorción de B₁, por lo que parece que los mecanismos de retroinhibición son importantes en la regulación de la producción microbiana y en el balance en el tubo digestivo de esta vitamina hidrosoluble (Jean-Blain y Alves de Oliveira, 1994). En el cuadro 7 se ha resumido el balance de B₁ en el tubo digestivo de una vaca lechera, alimentada con ensilado de maíz, heno y concentrado, a partir de los datos de Breves et al. (1981).

En condiciones *in vitro* se ha comprobado que la B₁ que llega al rumen es rápidamente absorbida o degradada por las bacterias, estimando la degradación de la vitamina añadida en un 50% según Steinberg y Kaufmann (1977), lo que resulta concordante con los valores obtenidos por Zinn et al. (1987) en condiciones *in vivo*. La degradación es consecuencia de la acción de tiaminasas y factores tiaminolíticos no enzimáticos. Estos aspectos son importantes en el desarrollo de la necrosis cerebro cortical y todo parece indicar que, las raciones que provocan acidosis ruminal, favorecen la proliferación de bacterias que pueden sintetizar ambos compuestos y desencadenar así la aparición de la enfermedad (Bieber-Wlaschny, 1988).

**Cuadro 7.- Balance de Tiamina (B₁) en el tubo digestivo de una vaca lechera
(Breves et al., 1981)**

Ración	Rumen	Duodeno	Intestino grueso	Heces
Ingerida 3.8 mg/kg MS	- Degradación + Síntesis	Absorción alta (d=0,9)	+ Síntesis (25-60 % de excreción fecal) Absorción baja (d=0,1)	
52,0 mg/d	53,0 mg/d	105,0 mg/d	11,8-13,7 mg/d	5,3 mg/d

Bieber-Wlasschny (1988), a partir de la revisión realizada, concluye en la necesidad de suplementar con B₁ las raciones de vacas lecheras de alta producción. En las condiciones actuales la protección no parece resultar, sin embargo, necesaria ya que la suplementación oral resulta eficaz para producir la respuesta del animal.

- Ácido fólico (folacina):

El interés por esta vitamina en rumiantes es reciente, especialmente después que se ha demostrado que la administración intramuscular de ácido fólico aumenta la velocidad de crecimiento en terneras de 4 meses de edad (Dumoulin et al., 1991), por lo que se plantea la conveniencia de su suplementación en la ración. Los resultados de Zinn et al. (1987) indican que el ác. fólico presenta en el rumen una degradabilidad alta y una síntesis microbiana baja (cuadro 4), lo que dificulta su suplementación en la práctica. Sin embargo, Girard et al. (1992) demuestran que administrando dosis más altas de ácido fólico (2 mg/kg PV) sí que es posible aumentar el nivel de folatos en sangre.

En estudios realizados en condiciones *in vitro*, se ha observado que la adición de ác. fólico mejora la digestibilidad de la paja. Por el contrario, Chiquette et al. (1993) trabajando en condiciones *in vivo* con terneros fistulizados, suplementados o no con 2 mg/kg PV, no obtuvieron ninguna mejora en la digestibilidad de ningún componente de la ración, aunque el nivel de ác. propiónico tendió a aumentar.

Girard et al. (1995), al aplicar inyecciones intramusculares de ácido fólico a vacas lecheras desde el día 45 de gestación hasta 180 días después del parto, observaron aumentos no significativos del contenido en folatos de la leche, la producción de leche y el porcentaje de proteína de la leche a partir de los 180 días pero no antes de la lactación. Recientemente, Girard et al. (1998) han conseguido aumentar significativamente la producción de leche en vacas multíparas (+3 a +9 %) al

suplementar, desde el último mes de gestación y durante toda la lactación, con 2-4 mg/kg PV en la ración. El efecto no fue significativo en primíparas.

En las condiciones actuales, la protección resultaría necesaria ya que dada su elevada degradabilidad la suplementación oral resulta poco eficaz para producir la respuesta del animal.

- Colina:

La Colina es considerada como vitamina sólo en algunos aspectos, ya que como componente de muchos fosfolípidos y en la forma de Acetil-colina juega un papel mayor en el metabolismo de los animales, especialmente en el mantenimiento de la integridad de las membranas. Es también una importante fuente de grupos metil para la síntesis de importantes compuestos, estando relacionada con otras sustancias donantes de grupos metil, tales como la Betaína y Metionina. En particular existe una estrecha relación entre la cantidad de Metionina absorbida y las necesidades de Colina, estimándose que más del 30% de la Metionina absorbida es utilizada por las vacas para sintetizar Colina. En este sentido, la Colina permite economizar Metionina y viceversa. Uno de los síntomas más claros de la deficiencia en Colina es el desarrollo del hígado graso.

La mayor parte de la Colina ingerida se degrada rápidamente en el rumen y así Sharma y Erdman (1989) indican que el Cloruro de Colina, que es muy higroscópico, se degrada un 97% en escasos minutos. La suplementación con niveles de hasta más de 300 g/d fueron incapaces de aumentar en más de 1g/d los niveles en el duodeno de vacas lecheras (Sharma y Erdman, 1988) lo que indica su ineficacia en forma no protegida. Por otra parte, Matison (1986) indica además que no existen evidencias en la bibliografía de síntesis ruminal de Colina, aunque en general se considera que las bacterias del rumen son capaces de sintetizar Colina para su funcionamiento (Baker, 1995). Los rumiantes parecen conservar más eficazmente la Colina que los monogástricos, lo que parece ser consecuencia de un mecanismo evolutivo de adaptación por la escasa cantidad de Colina disponible para ser absorbida en el intestino (Erdman, 1992).

Dada la relación metabólica entre Metionina y Colina, una parte de la respuesta postruminal observada con el empleo de suplementos de Metionina puede también ser consecuencia de su papel como dador de grupos metilo y precursor de la síntesis de Colina (Baker, 1995)

Desde los trabajos realizados por Erdamn et al. (1988, 1989), se ha puesto claramente de manifiesto que la infusión abomasal de Colina tiende a aumentar la producción de leche y de grasa en vacas lecheras, pero sólo la forma protegida resulta eficaz en su uso como suplemento alimenticio (Erdman, 1992; Deuchler et al., 1998). En el cuadro 8 aparecen resumidas las principales experiencias sobre infusión de Colina

en vacas lecheras según Erdman (1992). La dosis óptima de Colina se sitúa entre 30-45 g/d, con una respuesta media en leche de aproximadamente 1,9 kg/vaca, tal como concluye Erdman (1992).

Cuadro 8.- Efectos de la infusión de Colina en vacas lecheras (Erdman, 1992)

	Colina (g/d)			
	0	15-30	31-45	>45
Leche (kg/d)	30,7	31,1	32,6	32,1
Leche 4% (kg/d)	30,9	30,6	32,5	32,9
Grasa (%)	3,49	3,30	3,43	3,49
Proteína (%)	3,31	3,31	3,22	3,28

Erdman et al. (1991) han valorado en condiciones *in vitro* una Colina protegida con lípidos, obteniendo un 97% de protección en el rumen. Dado que la concentración de Colina en plasma no se relaciona con la cantidad absorbida, tal como han señalado Sharma y Erdman (1989), la evaluación de la protección en condiciones *in vivo* resulta difícil de realizar. Con este objetivo, Deuchler et al. (1998) han propuesto utilizar la secreción de Colina en la leche como indicador de la absorción en el intestino, aplicando este método a la valoración de la eficacia de utilización de los distintos productos de Colina protegida existentes en el mercado. Dichos autores concluyen que la concentración de Colina en la leche puede ser utilizada como un método simple y rápido para valorar los cambios en el aporte postruminal de Colina y así estimar el potencial de los distintos productos comerciales para incrementar la Colina absorbida.

Los efectos de la Colina no son exclusivos de la producción de leche en el ganado vacuno y así Puchala et al. (1998) han observado una respuesta lineal en la velocidad de crecimiento y en el índice de conversión de cabritas suplementadas con Colina protegida a dosis de 8-6 g/kg MS ingerida, concluyendo que la Colina puede también ser limitante en las raciones de caprino en crecimiento. En este trabajo se obtuvo igualmente un aumento de la concentración plásmatica de Colina al utilizar un suplemento protegido, indicando así su eficaz protección.

2.4.- Vitaminas liposolubles

2.4.1.- Degradación de las vitaminas liposolubles

Las vitaminas A (retinol), D (calciferol) y E, tal como se ha comentado inicialmente, no son sintetizadas por los microorganismos del rumen, por lo que deben ser suministradas en la ración para los rumiantes. Este no es el caso de la vitamina K, también liposoluble y que es eficazmente sintetizada en el rumen, excepto en animales

jóvenes o condiciones anormales. Sin embargo, la acción del rumen modifica también de una forma marcada la mayor parte de las vitaminas liposolubles ingeridas, tal como ocurría con las hidrosolubles.

Diversos autores indican que una cantidad apreciable de vitamina A y de β -caroteno, precursor de la vitamina (1mg β -caroteno= 400 UI vitamina A en vacuno), son degradados en el rumen por la acción de las hidrogenasas bacterianas (Ullrey, 1972; INRA, 1978; Herdt y Stowe, 1991). Así, Ullrey (1972) en una amplia revisión, señala que la desaparición de la vitamina A en el rumen alcanza valores de entre 40-70 %. Estas pérdidas han sido normalmente consideradas como destrucción, pero la absorción por la pared ruminal, aunque improbable, no ha sido descartada.

Por otro lado, aunque es dudoso que animales alimentados con forrajes verdes de calidad (ricos en β -caroteno) necesiten ser suplementados con vitamina A, el contenido en β -caroteno se reduce en un 70-90% en los henos y en 40-60% en los ensilados (Erdman, 1992). También debe tenerse en cuenta la inestabilidad de la vitamina A en los correctores vitamínico-minerales, donde son posibles pérdidas de hasta un 50% a los 6 meses de su fabricación. La presencia de grandes cantidades de nitratos en la ración aumenta la destrucción de vitamina A, puesto que los nitratos se reducen a nitritos en el rumen y éstos aumentan la destrucción de la vitamina al reducir sus dobles enlaces. Sin embargo, parece que esta reacción es pH dependiente y la destrucción se produce de forma importante cuando el pH es menor de 5. Por esta razón, únicamente resulta necesario aumentar la suplementación de vitamina A en raciones que favorezcan la acidosis ruminal (Herdt y Stowe, 1991). Un aumento de los valores normales de destrucción ruminal debe ser considerado cuando la suplementación con los niveles recomendados en vitamina A no consiga mantener el nivel de retinol en el suero, especialmente en raciones con un alto porcentaje de concentrados (Herdt y Stowe, 1991).

También parece probada la degradación ruminal de la vitamina D, como señala Herdt y Stowe (1991) y Sommerfeldt et al. (1983), que comprueban que la eficacia de la vitamina D₃ administrada por vía oral es menor que la sintetizada en la piel. Las raciones ricas en cereales aumentan la degradación ruminal de la vitamina D, igual que en los casos de las vitaminas A y E (Herdt y Stowe, 1991).

La vitamina E es muy inestable, oxidándose fácilmente en presencia de ácidos grasos poli-insaturados y minerales. La destrucción ruminal de la vitamina E ha sido puesta de manifiesto por Alderson et al. (1971) y Herdt y Stowe (1991), que señalan que la destrucción es proporcional a la cantidad de cereales en la ración, pudiendo alcanzar valores del 40% en dietas basadas fundamentalmente en cereales. Frye et al. (1991) señalan que la desaparición de la vitamina E antes de llegar al intestino no es debida a una absorción en el rumen que consideran prácticamente nula.

2.4.2.- Digestión y absorción de las vitaminas liposolubles

La absorción de todas las vitaminas liposolubles está ligada a la digestión y absorción de los lípidos después de su hidrólisis abomasal. En el intestino delgado, por acción de la lipasa pancreática y de las sales biliares, se forman micelas de ácidos grasos, monoglicéridos, fosfolípidos, sales biliares y colesterol. En este contexto, las vitaminas liposolubles se incorporan a las micelas para poder atravesar las membranas celulares de la mucosa intestinal. Posteriormente, el transporte hasta el hígado se realiza a través de la linfa. Por ello la grasa de la ración favorece la absorción de las vitaminas liposolubles.

Los carotenos se transforman a vitamina A principalmente en las células de la mucosa intestinal, aunque también otros tejidos (pulmón, riñón e hígado) tienen capacidad para ello. La eficacia de transformación de β -caroteno en vitamina A es inferior en los rumiantes respecto a los monogástricos, estimándose tan sólo en un 24% del valor obtenido en éstos (Huber, 1988). Por otro lado, es más eficiente la absorción de vitamina A (a través de un carrier) que en forma de carotenos (por difusión) tal como señalan Herdt y Stowe (1991). La vitamina A se almacena en el hígado como alcohol libre (retinol) y su turnover depende de la cantidad de vitamina en la ración. Swanson et al. (1968) estiman que las reservas hepáticas de A disminuyen aproximadamente un tercio cada mes en dietas deficientes.

La vitamina D ingerida es absorbida por los enterocitos del intestino delgado por simple difusión. Frye et al. (1991) señalan que sólo el 50% de la vitamina D administrada oralmente es finalmente absorbida. El metabolismo de la vitamina D pasa por su formación a partir de sus provitaminas (ergosterol y dehidrocalciferol) mediante la acción de los rayos ultravioletas, transformación en el hígado a hidroxicoalciferol (25-OH-D₃), que es la principal forma circulante en sangre, y posterior metabolización en el riñón a sus formas activas, como dihidroxicoalciferol (25-(OH)₂-D₃), que actúan como hormonas en el metabolismo del Ca. El cuerpo tiene menos capacidad de almacenar vitamina D que A (en el tejido adiposo y la sangre) lo que condiciona el orden de aparición de las deficiencias (Frye et al., 1991; Herdt y Stowe, 1991).

La digestión y absorción de la vitamina E es semejante a la A. La suplementación de esta vitamina se realiza generalmente como α D,L-acetato de tocoferol que se hidroliza en el abomaso y se absorbe en el intestino como tocoferol. El hígado no actúa tampoco como órgano de reserva en este caso, almacenándose en el tejido adiposo.

2.4.3.- Efectos de la suplementación con vitaminas liposolubles

Las dietas de los rumiantes son normalmente suplementadas con vitaminas liposolubles (A, D₃, E) para cubrir las necesidades. Esto es posible porque, a pesar su

destrucción en el rumen, una parte importante alcanza el intestino delgado y es utilizable por el animal.

- Vitamina A:

De forma general, es importante que los animales empiecen a constituir una reserva hepática de vitamina A desde el nacimiento, siendo el calostro una vía de aporte fundamental. A partir de este momento los β -carotenos de los forrajes son la fuente más importante de vitamina A en los rumiantes. La vía oral resulta más conveniente en este caso que la intramuscular o subcutánea puesto que se destruye rápidamente por peroxidación en el lugar de inyección. La suplementación oral de vitamina A se realiza normalmente en forma de ésteres (palmitato, acetato o propionato de retinilo). Para conocer el estatus de vitamina A de un animal resulta necesario realizar una biopsia de hígado. Sin embargo, este método es muy limitado para su uso en la práctica, por lo que suele utilizarse la determinación de sus niveles en sangre, pese a ser menos preciso (Herdt et. al., 1991). En general, la suplementación resulta necesaria a valores $<10\mu\text{g/dl}$ (Huber, 1988).

Suplementar con vitamina A por encima de las necesidades en vacas lecheras ha demostrado en algunos casos aumentos en la producción de leche (Erdman, 1992) o en el contenido de vitamina A en la leche (Huber, 1988). Los estados de estrés (parto, enfermedades, calor; etc...) o la presencia de ácidos poli-insaturados en el pienso aumentan las necesidades, por lo que los animales responden favorablemente a la suplementación en estos casos. Coelho (1991) estima que 1 g de ácidos grasos poli-insaturados en el pienso es capaz de destruir 3000 UI de vitamina A por oxidación. La suplementación por encima de las necesidades puede tener un papel importante como estímulo de la inmunidad y aumentar así la resistencia a la mastitis (Herdt y Stowe, 1991). La toxicidad de la vitamina A en rumiantes es baja, a diferencia de lo que ocurre en monogástricos, sin presentarse síntomas de intoxicación a valores 100 veces superiores a las necesidades. La ingestión de antioxidantes parece que reduce las pérdidas de vitamina A en el hígado, mientras que raciones pobres en proteína o con contenidos elevados de aflatoxinas, aumentan las pérdidas.

- Vitamina D:

Parece que los rumiantes adultos alimentados con forrajes verdes y expuestos a la luz del sol no tienen necesidad de suplementos de vitamina D en la ración, mientras que la suplementación es más necesaria en el caso de animales jóvenes y estabulados (Herdt y Stowe, 1991). Sin embargo, los niveles de vitamina D en los alimentos para rumiantes deben ser corregidos para aportar un margen de seguridad que permita cubrir los factores de riesgo que pueden incrementar las necesidades, aumentar las pérdidas o limitar su síntesis a partir de las correspondientes provitaminas (relación Ca:P inadecuada, contaminación fúngica, estrés y enfermedades, almacenamiento de larga duración, enclaustramiento, etc...).

- Vitamina E:

Las necesidades de vitamina E en las vacas pueden ser muy variables según las circunstancias y existe una cierta confusión en la cifra recomendable. La composición lipídica de la ración, principalmente en ácidos grasos poli-insaturados, condiciona las necesidades en vitamina E como consecuencia de su oxidación. Coelho (1991) estima que 1 g de ácidos grasos poli-insaturados destruye 3 UI de vitamina E en el pienso. Así raciones con alto contenido en grasa, especialmente si es insaturada, deben ser suplementadas por encima de las recomendaciones. La medida práctica del estatus en vitamina E de un animal es su concentración en sangre, aunque debe tenerse en cuenta la cantidad de lipoproteínas presente, ya que la vitamina E forma parte de ellas. Por esta razón se recomienda expresar la concentración de vitamina en el suero en relación al total de lípidos o de colesterol (Herdt et al., 1991; McDowell et al., 1996).

Otro de los factores que condiciona las necesidades es su relación con el sistema inmunitario y la actividad inflamatoria, incrementándose las necesidades con la exposición a agentes infecciosos. Por último, una suplementación con niveles elevados de vitamina E se recomienda en los casos de oxidación espontánea de la leche (lipolisis).

Para incrementar la estabilidad de los suplementos vitamínicos en el mercado, las vitaminas A y D son incorporadas junto con un antioxidante y un secuestrante (EDTA) en una matriz de gelatina. Estas preparaciones aumentan considerablemente la estabilidad de las vitaminas frente a los agentes que producen su destrucción (calor, presión, temperatura, tiempo de almacenaje, etc...) en los piensos, pero resultan poco efectivas contra la degradación ruminal.

3.- AMINOÁCIDOS

3.1.- Importancia de los aminoácidos en rumiantes y problemática de la valoración de necesidades

Considerar exclusivamente la degradabilidad ruminal de las fuentes de proteína aportadas a los rumiantes ha sido claramente superado por el concepto de aminoácidos (AA) absorbidos en el intestino delgado del animal. Este aspecto es especialmente importante en el caso de los rumiantes lecheros, en los que las raciones necesitan ser finamente ajustadas, tanto desde un punto de vista fisiológico como económico. Recientes estudios en vacas lecheras de alta producción sugieren que el perfil de AA en el intestino varía más que lo asumido en trabajos realizados anteriormente con animales de baja producción.

La elevada demanda de nutrientes de las vacas de alta producción, junto con la tendencia actual a primar la composición en proteína de la leche y a la necesidad de aumentar la eficacia de utilización del nitrógeno en todas las especies ganaderas y

sistemas productivos por motivos medioambientales, llevan a la necesidad cada vez más acuciante de establecer necesidades claras de AA en los rumiantes. De una forma general, esta problemática puede también hacerse extensiva a otros rumiantes en las fases críticas de su ciclo productivo (final de gestación, animales pre-rumiantes o en la fase de transición, terneros y corderos en cebo intensivo, etc...). En la práctica esto supone la necesidad de revisar y modificar algunos de los principios básicos de los sistemas de alimentación proteica de distintos países, de forma que puedan equilibrarse las raciones considerando el aporte y disponibilidad de AA en el intestino.

Con este motivo, muchas de las investigaciones de los últimos años sobre la alimentación proteica de vacas lecheras se han orientado a:

- Evaluar las necesidades de AA absorbibles en el intestino
- Predecir la cantidad y composición en AA de la proteína microbiana y del alimento que llega y que puede ser absorbido en el duodeno.

En relación a las necesidades de AA en los rumiantes se consideran esenciales los mismos AA que en monogástricos: Treonina, Triptófano, Histidina, Arginina, Leucina, Lisina, Isoleucina, Metionina, Valina y Fenilalanina. En ganado vacuno también se consideran la Tirosina y la Cisteína para la producción de leche (Chalupa et al., 1991).

Sin embargo, las necesidades en AA para el crecimiento, reproducción y la producción de leche en los rumiantes no se conocen directamente, siendo normalmente estimadas a partir de los conocimientos disponibles sobre las necesidades en monogástricos y de la composición en AA de la proteína de sus producciones, como se aplica en el caso de la leche (Schingoethe, 1996).

Respecto a la contribución de los AA de la proteína microbiana y del alimento al total de aportes en el duodeno, según Schingoethe (1996) existen razonables estimaciones de la composición en AA de los microorganismos ruminales así como de los flujos intestinales de proteína microbiana y alimenticia. Sin embargo la composición en AA y la digestibilidad de la proteína no degradable de los alimentos es mal conocida.

Debido a la complejidad e interacciones de los factores que afectan tanto a las necesidades como a los aportes de AA absorbibles en el intestino delgado, uno de los aspectos claves para formular raciones de vacas lecheras en base a AA es el desarrollo de modelos metabólicos en paquetes informáticos. Estos modelos deben predecir el flujo intestinal y la absorción y la utilización de AA (Chalupa et al., 1991). No obstante, según Robinson (1996) esto implica un nivel de precisión que no tienen los datos a partir de los que se han elaborado, por lo que en la actualidad permiten obtener indicaciones de tipo cualitativo y no cuantitativo, aunque necesitan validarse.

Se han propuesto así diversos modelos, la mayor parte de ellos basados en los trabajos de Baldwin et al. (1987 a, b, c), de tipo mecánico que permiten calcular las necesidades de las vacas lecheras y la utilización de los nutrientes (Chalupa et al., 1996). Entre ellos figuran los de Degussa y los de la Universidad de Pensilvania.

Uno de los modelos más conocidos es el *Cornell Net Carbohydrate and Protein Model* (Fox et al., 1990) que es de tipo mixto: empírico (basado en trabajos experimentales *in vivo*) y mecánico (basado en ecuaciones matemáticas a partir de experimentos *in vitro* a nivel de tejidos que pretenden reflejar las reacciones bioquímicas que ocurren en el metabolismo) y que describe la ingestión de alimento, la fermentación ruminal de las proteínas y carbohidratos, así como la digestión y absorción en el intestino de las mismas. El modelo calcula las necesidades de los animales y los déficits de la ración (Chalupa y Sniffen, 1996).

3.2.- Calidad en aminoácidos de un suplemento proteico

Sin entrar en la complejidad anteriormente comentada de los factores que determinan el flujo de AA al intestino y considerando que la composición en AA de la leche es un indicativo bastante fiel del perfil ideal de AA para las vacas lecheras de alta producción, Schingoehde (1996) ha propuesto valorar la calidad aminoacídica en relación a la leche por medio de un índice de la proteína de la leche o MSP (*Milk Protein Score*), que corresponde al contenido del AA más limitante en el suplemento proteico en relación a la proteína microbiana. En el cuadro 8 se recogen los valores del índice para distintos suplementos proteicos. En el cuadro 9 se han evaluado además los mismos suplementos incluyendo el aporte de AA procedentes de la proteína microbiana en el intestino delgado. Como se puede observar los valores mejoran en todos los casos debido a que la calidad de la proteína microbiana es alta en relación a la leche (MSP=0,78).

Es importante tener en cuenta que la composición de los AA de la proteína no degradable de un alimento difiere de la del ingrediente original y, también, que la digestibilidad de los AA de cada alimento es diferente, factores que pueden cambiar la adecuación de una materia prima para la producción de leche y de los cuales no existen tantos datos disponibles como se necesitaría. De hecho, ante la falta de datos, los sistemas oficiales asumen que la digestibilidad intestinal de la proteína alimenticia es constante para todos sus AA (INRA, 1988).

Para corregir los déficits en AA de las raciones tradicionales es necesario poder formularlas de manera que las distintas fuentes proteicas se complementen en su composición en AA, existiendo también la posibilidad (como se realiza en las dietas de monogástricos) de incluir AA sintéticos que permitan corregir el aporte de AA a menor coste o a inferior nivel de proteína en la ración.

Cuadro 8.- Calidad en aminoácidos de distintos suplementos proteicos en relación a la proteína de la leche (Schingoehnte, 1996).

Suplemento	Indice proteico (MSP)	Aminoácido aparentemente limitante		
		Primero	Segundo	Tercero
Harina de sangre	0,42	Iso-Leu	Met	Trp
Harina de Canola	0,68	Iso-Leu	Met	Leu
Gluten meal	0,21	Lis	Trp	Iso-Leu
Granos de destilería	0,32	Lis	Trp	Met
Harina de algodón	0,46	Met	Iso-Leu	Lis
Bagazo cerveza deshidratado	0,40	Lis	Met	His
Harina de plumas	0,19	His	Met	Lis
Harina de pescado	0,75	Leu	Trp	Iso-Leu
Harina de carne y huesos	0,43	Trp	Iso-Leu	Met
Harina de soja	0,46	Met	Val	Iso-Leu
Harina de girasol	0,46	Lis	Leu	Met
Proteína microbiana ruminal	0,78	His	Leu	Val

MSP= Milk Protein Score.

Cuadro 9.- Calidad de distintos suplementos proteicos al incluir los aportes de aminoácidos de la proteína microbiana ruminal, en relación a la proteína de la leche (Schingoehnte, 1996)

Suplemento	Indice proteico (MSP)	Aminoácido aparentemente limitante		
		Primero	Segundo	Tercero
Harina de sangre	0,70	Iso-Leu	Met	Val
Harina de Canola	0,81	His	Leu	Val
Gluten meal	0,70	Lis	His	Val
Granos de destilería	0,77	Lis	His	Met
Harina de algodón	0,78	Met	Val	His
Bagazo cerveza deshidratado	0,75	His	Met	Lis
Harina de plumas	0,56	His	Met	Lis
Harina de pescado	0,81	Leu	Val	His
Harina de carne y huesos	0,75	His	Met	Leu
Harina de soja	0,79	Met	His	Val
Harina de girasol	0,77	His	Leu	Met

Como puede apreciarse al comparar los cuadros 8 y 9, la suplementación con proteínas protegidas resulta de poco interés para la producción de leche cuando los suplementos que utilizados presentan un MSP inferior al de la proteína microbiana. Por el contrario, la posibilidad de utilizar únicamente aminoácidos que complementen los aportes intestinales de AA tiene un gran interés.

3.3.- Degradación ruminal de los aminoácidos

Al plantear la suplementación de las raciones con AA puros de origen sintético, resulta necesario conocer el valor de su degradabilidad en el rumen. Es sabido que la concentración de AA libres en el rumen, resultado de la proteólisis de la proteína ingerida, es baja lo que indica una rápida desaparición de los AA del alimento en el rumen. Esto sugiere su rápida degradación (utilización) por los microorganismos ruminales que los incorporan a sus proteínas o desaminan produciendo una elevación del N amoniacal. Sin embargo, a pesar de que se ha asumido siempre una total degradabilidad de los AA libres en el rumen, existen pocos trabajos que calculen cuantitativamente el valor de dicha degradabilidad.

Los trabajos realizados *in vitro*, con líquido ruminal de vacas, o *in vivo* con animales canulados en rumen a los que se infundieron AA sintéticos, indican unos valores de degradabilidad más altos *in vivo* que *in vitro*.

Según resultados obtenidos *in vitro* por Chalupa (1976), los AA pueden clasificarse en tres grupos según su velocidad de degradación ruminal:

- Degradación rápida: Arginina (Arg) y la Treonina (Treo).
- Degradación media: Lisina (Lis), Fenilalanina (Fen), Leucina (Leu) e Isoleucina (Iso-Leu).
- Degradación lenta: Valina (Val) y Metionina (Met).

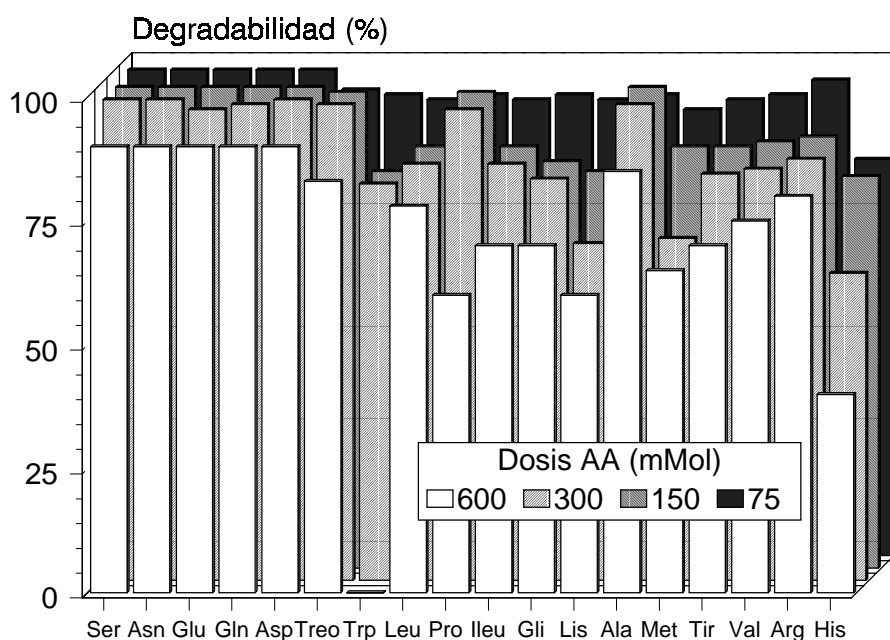
Los datos obtenidos por Cottle et al. (1989) en condiciones *in vivo* confirman un orden semejante pero los ritmos de degradación son más elevados. Estos autores sugieren que la baja degradabilidad observada para la Met puede ser consecuencia de la síntesis de Met por las bacterias del rumen.

En función de los valores de degradabilidad obtenidos por Chalupa (1976), trabajando con dosis fisiológicas de AA, todo parece indicar que no tiene sentido la suplementación a dosis bajas de AA sintéticos, tal vez con la excepción de la Met que escaparía del rumen en mayor cantidad. Sin embargo, los resultados obtenidos por Cottle et al. (1989), trabajando con dosis altas de AA infundidos en el rumen, sugieren que una cantidad importante de AA en forma no protegida puede escapar del rumen inalterada. Así, al infundir 15 g de Lis, Met y Treo, escaparon del rumen: 2g de Lis (13%), 5,6g de Treo (37%) y 4,6 g de Met (31%). Incluso infundiendo en rumen 5 g de

estos AA se aumentaron los valores duodenales casi 10 veces los que se observaron sin infundir.

Asímismo, Cottle et al. (1989) y Velle et al. (1997) observan que al aumentar las dosis de AA infundidos en el rumen, los ritmos de degradación cambian sustancialmente disminuyendo de forma importante la degradabilidad ruminal de algunos AA (figura 1). Por esta razón, ambos autores sugieren que, dependiendo del coste de los AA sintéticos, puede ser de interés suplementar AA sin proteger a los rumiantes, puesto que a dosis altas, se consiguen cantidades apreciables de AA en el duodeno.

**Figura 1.- Efecto de la dosis en la degradación ruminal de aminoácidos
(Velle et al., 1997).**



Todo parece indicar que los AA se degradan más rápidamente cuando se administran solos, en comparación a cuando lo son junto a otros AA (Chalupa, 1976; Velle et al., 1997), lo que indica la necesidad de realizar trabajos de infusiones de mezclas para realmente conocer los ritmos de degradación que deben ocurrir en la práctica al suministrar más de un AA.

Resulta interesante destacar que la infusión intraruminal de dosis altas de AA implica también el aumento considerable de otros AA. La Ala es el AA que más aumenta en la mayoría de las infusiones y la Met el que consigue producir un mayor incremento del resto de AA en el rumen tras la infusión de una dosis alta (600 mMol). Este resultado podría ser consecuencia de un cierto efecto tóxico de la Met, que produciría una depresión del metabolismo degradativo del rumen o bien una

estimulación de la síntesis de proteína microbiana, tal como ha sido observado en estudios con vacas lecheras.

Como conclusión puede señalarse que la degradabilidad de los AA administrados oralmente a niveles fisiológicos es, en general, elevada, aunque es posible disminuirla cuando se administran dosis altas, especialmente en el caso de la Met. Por esta razón, resulta necesario estudiar económicamente la suplementación pues, en algún caso, puede ser más interesante suplementar con AA no protegidos a dosis altas que con AA protegidos a costes elevados.

3.4.- Digestión y absorción de aminoácidos

De una forma general, resulta conocido que los AA son absorbidos fundamentalmente a nivel del intestino delgado, una vez realizada la proteólisis gástrica (pepsina) e intestinal (quimiotripsina, quimosina y pancreatina). Sin embargo, existen evidencias de la absorción de AA a nivel de la mucosa ruminal y omasal.

Respecto a una posible absorción de AA por la pared ruminal, se considera que puede ocurrir cuando los gradientes sean adecuados, tal como indican los trabajos de Cook et al. (1965) y Leibholz (1971). También Matthews et al. (1995) señalan que existe una cierta capacidad de absorber dipéptidos (Carnosina), metionil-Glicina y Met por la pared ruminal y omasal, siendo la capacidad de la pared del omaso superior a la del rumen. Si estos datos se confirman puede resultar de interés la suplementación de AA a los rumiantes en forma de dipéptidos.

En relación a la concentración plasmática de Met tras una infusión ruminal, los resultados son contradictorios. Así, mientras Doyle et al. (1980) encuentran que la Met en plasma se ve incrementada únicamente al administrar dosis altas (27 g de Met), Cottle et al. (1989) observan un aumento de la concentración plasmática del 109% en relación al control, al infundir 5 g de Met junto con Lis y Treo. Los efectos asociativos antes comentados pueden explicar en parte este resultado.

3.5.- Efectos de la suplementación con aminoácidos

3.5.1. Determinación del nivel óptimo de suplementación

De acuerdo con lo señalado anteriormente, los conocimientos actuales sobre AA limitantes en las distintas situaciones productivas de los rumiantes son muy limitados y poco concluyentes. Existe una falta clara de información para poder conseguir una precisión suficiente sobre los efectos de los AA en los modelos utilizados para prever los resultados productivos de las raciones de rumiantes, tal como es posible realizar en el caso de los monogástricos.

Aunque cada uno de los 10 AA esenciales en rumiantes ha sido citado como limitante en uno o más estudios (Schingoethe et al., 1996), Met y Lis son los más frecuentemente considerados como potencialmente limitantes en el ganado vacuno lechero (Rulquin et al., 1993; Schawb, 1996). En el caso de raciones de ensilado de alfalfa y soja tratada con calor, todo parece indicar que son deficitarias en Met pero no en Lis (Armentano et al., 1997). No obstante, Schingoethe et al. (1996) pone de manifiesto que la existencia de un mayor número de estudios sobre los efectos de estos dos AA en rumiantes también es debido a la existencia de diversos productos comerciales de Met y Lis protegidas (LisP, MetP) y no porque de una forma clara sean los dos AA más frecuentemente limitantes en la práctica.

El siguiente AA limitante para las vacas lecheras después de Lis y Met, según Fraser et al. (1991), parece ser la His, lo que concuerda con lo señalado en muchos de los suplementos proteicos del cuadro 9. No obstante, Rulquin (1986) indica que la Carnosina puede actuar como fuente de His reduciendo su papel como limitante. También Xu et al. (1998) y Robinson et al. (1998) concluyen que, en raciones basadas en ensilado de hierba, la His puede ser más limitante que Lis y Met. Otros trabajos indican que la Arg (Schwab et al., 1976; Xu et al., 1998) y la Fenil-Ala (Nichols et al., 1998), en raciones basadas en ensilado de maíz y heno de alfalfa, son claramente limitantes además de Lis y Met.

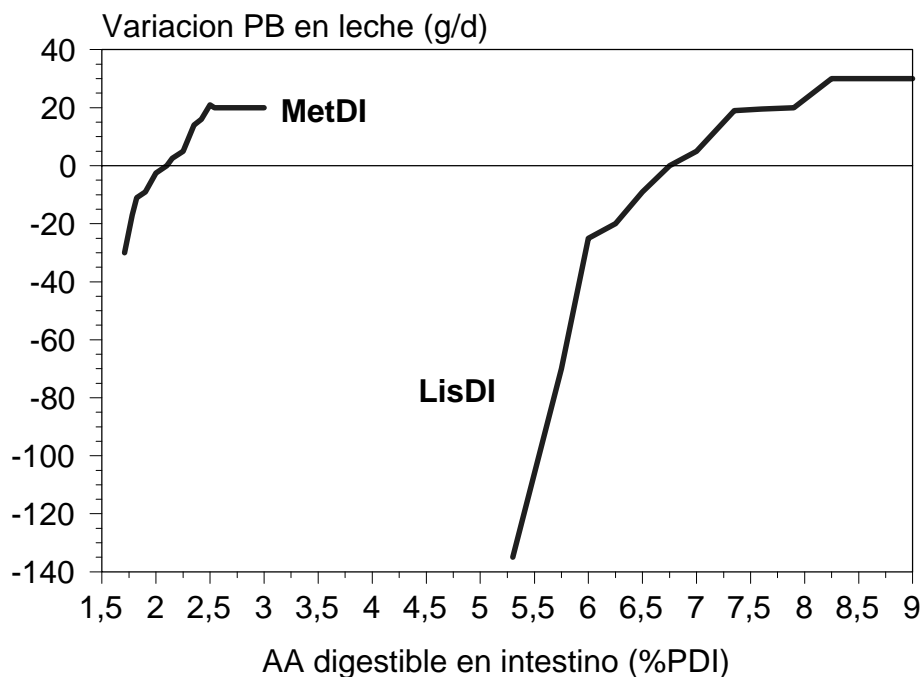
En relación a los efectos de la adición de Lis y Met se ha realizado un gran esfuerzo de síntesis en los últimos años a fin de revisar la mayor cantidad posible de datos publicados sobre los efectos dosis/respuesta, para proponer unos valores recomendables de utilización en la práctica.

Entre ellas destaca la realizada por Rulquin (1992) y Rulquin y Verité (1993), a partir de los datos de 57 trabajos en los que con 164 raciones se utilizaron dos o más niveles de Lis y Met. Estos autores concluyen que la relación aporte-respuesta productiva es óptima cuando los aportes de **Lis y Met** son respectivamente de **7,3 y 2,5 %PDI** (Proteína digestible en el intestino) del sistema INRA (1988), tal como se representa en la figura 2.

Por debajo de 6,8 y 2,0 %PDI, de Lis y Met, respectivamente, la producción diaria de proteína en la leche cae fuertemente. Chalupa y Sniffen (1991) concluyen por otro lado que las máximas respuestas se obtienen con **16-30 g/d Lis** y **10-15 g/d Met** y es, en este rango, en el que se han venido desarrollando la mayor parte de los trabajos de investigación realizados posteriormente.

Procediendo de forma semejante, Schaw (1996), a partir de los datos anteriores junto a otros propios, estima que las necesidades, expresadas en este caso como porcentaje de AA esenciales que llegan al duodeno (AAE), corresponden a valores de Lis y Met de **15 y 5 %AAE**, respectivamente.

Figura 2.- Efectos de los aportes de Lisina y Metionina digestible en el intestino de vacas lecheras sobre la variación de la producción de proteína en leche (Rulquin et al., 1993)



Para calcular los porcentajes de Lis y Met en el total de AAE que llegan al duodeno Schaw (1996), a partir de los datos de Socha y Schwab (1994), propone las siguientes ecuaciones:

1) Lis:

$$Y = 14,43 - 0,04 X_1 - 0,29 X_2 + 0,54 X_3 + C \quad (r^2 = 0,82)$$

donde: Y = Lis en duodeno (%AAE)

X_1 = Proteína no degradable de la ración (%PB)

X_2 = Proteína bruta de la ración (%MS)

X_3 = Lis no degradable (%AAE no degradables)

C = Constante según el estado de lactación (>100 días = -0,13; 100-200 días = 0,80; >200 días = 0)

2) Met:

$$Y = 5,36 - 0,08 X_1 + 3,9 X_2 + C \quad (r^2 = 0,55)$$

donde: Y = Met en duodeno (%AAE)

X_1 = Proteína no degradable de la ración (%PB)

X_2 = Metionina no degradable (%PB)

C = Constante según el estado de lactación (>100 días = -0,15; 100-200 días = 0,34; >200 días = 0)

De esta manera se pueden calcular los niveles de Lis y Met en las raciones prácticas y decidir sobre la conveniencia o no de suplementar con estos AA.

Sin embargo, Robinson et al. (1998) utilizando las ecuaciones propuestas, no obtienen resultados productivos al aumentar el aporte de Lis entre 13-15%AAE, por medio de la adición de 21 g/d de LisP. Estos autores concluyen que, en raciones de ensilado de hierba, podrían ser otros los AA limitantes y sugieren que el déficit de His puede ser mayor que el de Lis.

3.4.2.- Efectos de la suplementación con aminoácidos protegidos

A la vista de estas conclusiones y dada la elevada degradación de la mayor parte de los AA a las dosis de aplicación, se plantea la necesidad de disponer de formas comerciales protegidas. Los principales métodos utilizados para proteger a los AA en la industria son los siguientes (Chalupa y Sniffen, 1991, 1996):

- Producción de AA análogos (Metionina hidroxí-análoga; Hidroximetil DL-Metionina cálcica; Monoplus di-N-Hidroximetil-L-Lisina cálcica, etc...) que resultan más estables en las condiciones ruminales. La riqueza del producto resulta superior al 95%.
- Recubrimiento con grasa, mezclas de grasas y proteínas, proteínas tratadas con formaldehído, jabones cálcicos de ácidos grasos de cadena larga. En estos casos las preparaciones sólo contienen un 10-30% del aminoácido debido al efecto diluyente del otro componente.
- Encapsulación con compuestos poliméricos resistentes a la degradación ruminal, pero que son hidrolizados en el abomaso. Muchos de ellos no resisten las condiciones de granulación o fabricación de los piensos compuestos, por lo que suelen utilizarse en mezclas simples. El efecto de dilución es menor y suelen contener un 70-85 % del AA.

Los efectos de la suplementación con AA protegidos son relativamente recientes y en la mayoría de los casos centrados en las vacas lecheras. No obstante, existen también resultados interesantes en terneros de carne y en ganado ovino de carne y leche.

Independiente de las propuestas de los aportes teóricos necesarios de Lis y Met, en relación a cubrir las necesidades de las vacas lecheras, numerosos trabajos han valorado los efectos de la suplementación de ambos AA en diferentes tipos de raciones. En base a estos trabajos, Rulquin y Verité (1993) realizaron una interesante revisión de 121 experimentos cuyos resultados estaban disponibles hasta esa fecha, en los que se suplementaron las raciones de vacas lecheras con Lis, Met o ambos AA conjuntamente (cuadro 10).

Los efectos medios obtenidos correspondieron a aumentos de:

- Producción de leche = + 0,1 kg/d (variación: -2,3 a +2,2 kg/d)
- Producción de proteína = +29 g/d (variación: -131 a + 118 g/d)
- Contenido en proteína: +0,9 g/kg (variación: -0,6 a +3,6 g/kg)
- Contenido en grasa: +0,1 g/kg (variación: -4,3 a 5,6 g/kg).

Los resultados son poco concluyentes debido a la variabilidad de las respuestas observadas, que en muchos casos no fueron significativas. Sin embargo, como conclusión, Rulquin y Verité (1993) identifican algunos de los principales factores que pueden explicar la variabilidad de la respuesta productiva ante la suplementación de Lis y Met. Así la respuesta es mayor cuando:

- Se suplementa conjuntamente con Lis y Met
- Las raciones están basadas en maíz
- Las raciones tienen un elevado contenido en proteína
- La producción de leche es más elevada y al principio de la lactación.

Cuadro 10.- Respuestas medias a la suplementación con aminoácidos en vacas lecheras (Rulquin y Verité, 1993)

Tratamientos		Leche (kg/d)	Proteína		Grasa (g/kg)
Aminoácidos	Raciones		g/d	g/kg	
Lis	Todas (3)	+0,5	+8	-0,2	-0,2
Met	Todas (22)	-0,2	+5	+0,4	+0,5
Lis+Met	Todas (96)	+0,2	+35	+1,1	-0,2
	Bajo maíz (9)	-0,2	+10	+0,7	+1,5
	Alto maíz (87)	+0,2	+38	+1,1	-0,2
	Baja proteína (25)	+0,5	+38	+0,9	-0,2
	Alta proteína (62)	+0,3	+49	+1,3	-0,3
	Inicio lactación (16)	+0,7	+56	+1,2	-0,5
	Mitad lactación (71)	+0,1	+31	+1,0	0

En este contexto Rulquin et al. (1993) concluyen que la suplementación con Lis y Met, en raciones basadas en maíz, incrementa la proteína verdadera de la leche, especialmente la caseína, sin que deban esperarse efectos sobre la producción de grasa.

En el cuadro 11 se han resumido los principales resultados experimentales publicados a partir de la revisión de Rulquin y Verité (1993) sobre el empleo de LisP y MetP, lo que tiene especial utilidad para validar las anteriores conclusiones. Es

**XIV Curso de Especialización
AVANCES EN NUTRICIÓN Y ALIMENTACIÓN ANIMAL**

importante destacar que, confirmando las conclusiones anteriores, el parámetro más significativamente afectado y sobre el que existe mayor coincidencia (6 referencias de las 9 resumidas) es la proteína de la leche, tanto en producción diaria (kg/d) como en concentración (g/kg). Los resultados medios obtenidos corresponden a aumentos de:

- Producción de leche = +1,23 kg/d (variación: -1,0 a +4,1 kg/d), aunque el efecto sólo fue significativo en 2 experiencias.
- Producción de proteína = +70 g/d (variación: +10 a +120 g/d) significativo en la mayoría de los casos.
- Contenido en proteína = +0,6 g/kg (variación: -1,1 a +2,6 g/kg), significativo en la mayoría de los casos, aunque el incremento es ligeramente inferior al reportado anteriormente y más parecido a la media de las raciones con bajo maíz. Este dato se ha visto afectado por una única experiencia en la que la proteína en vez de aumentar disminuye considerablemente, eliminando este dato obtendríamos una media de 1,3 g/kg.
- Contenido en grasa = + 0,7 g/kg (variación: -0,3 a +3,2 g/kg), sólo significativo en 1 caso.

Cuadro 11. - Resultados recientes de los efectos de la adición de aminoácidos protegidos a la ración de vacas lecheras.

Dosis (g/d)		Ración base (referencia)	Leche (kg/d)	Proteína (%)		Grasa (%)
Lis	Met			Total	Verdadera	
0	17	Maíz y alfalfa (1)	37,3 (+1,5)	2,98 (+0,01)	-	3,4 (+0,2)
"	"	Maíz y alfalfa (2)	41,0 (+1,2)	2,91 (+0,03)	2,72 (+0,02)	3,2 (+0,2)
"	"	" "	41,6 (-0,8)	2,90 (+0,08)	2,70 (+0,08)	3,5 (-0,1)
14,7"	5,3	Maíz, alfalfa, soja (3)	41,3 (+0,1)	2,89 (+0,06)	-	3,3 (-0,03)
"	10,5	" " "	(+0,1)	(+0,10)	-	(-0,02)
"	11,5	" " "	(+0,4)	(+0,12)	-	(+0,04)
0	14,7	Maíz, soja, 87%E (4)	29,2 (-1,0)	-	3,07 (+0,12)	4,29 (+0,09)
"	"	" " , 100%	29,4 (-0,8)	-	3,19 (+0,09)	4,41 (+0,03)
15,2	10,6	Maíz, alfalfa, 34%UIP	39,2 (+3,8)	2,83 (+0,04)	-	3,6 (+0,09)
"	"	" " , 41% (5)	40,9 (-0,3)	(+0,13)	-	3,6 (0)
20,0	6,0	Maíz y soja (6)	34,3 (-0,3)	2,99 (+0,07)	-	3,6 (+0,08)
"	"	Maíz, granos destilería	35,3 (+1,4)	3,02 (+0,06)	-	3,6 (-0,01)
21,0	0	Maíz y fleo (7)	33,9 (-0,3)	3,21 (0)	-	3,8 (+0,01)
"	6,0	" "	(+0,1)	(+0,05)	-	(+0,06)
27	8	S. hierba, 1-8 sem (8)	33,8 (+3,7)	3,06 (0)	-	3,7 (+0,32)
"	"	" "	(+5,2)	(+0,26)	-	(+0,30)
40	13	" " , 9-16 sem	37,0 (+4,1)	3,09 (-0,11)	-	3,3 (0)
"	"	" "	(+3,3)	(+0,03)	-	(+ 0,06)

(1): Overton et al. (1996), (2): Overton et al. (1998), (3): Armentano et al. (1997), (4): Rulquin & Delaby (1997), (5): Wu et al. (1997), (6): Nichols et al. (1998), (7): Robinson et al. (1998), (8): Xu et al. (1998).

En función de estos datos podemos considerar que las conclusiones de Rulquin (1992) se mantienen y que el efecto de la suplementación con Met y Lis incrementa significativamente la proteína de la leche (entre 0,5-1 g/kg) y la producción total de proteína (50-70 g/d), sin modificar significativamente el resto de componentes. Mayores efectos se obtuvieron en raciones basadas en maíz y menores en raciones basadas en hierba, donde los AA limitantes podrían ser otros.

Otro efecto interesante, observado con la suplementación con MetP es el incremento de la ingestión. Así, Overton et al. (1998) indican una tendencia a aumentar la ingestión de materia seca (+1 kg) al suplementar con 17 g/d Met en raciones con maíz, pero el efecto no se produjo en el caso del gluten feed.

Igualmente, Xu et al. (1998) utilizando raciones basadas en ensilado de hierba suplementadas con 40 g/d Lis y 13 g/d Met, obtuvieron un aumento significativo de la capacidad de ingestión al principio de la lactación (+3 kg MS/d). Sin embargo, Poland et al. (1991) sugieren que un exceso de Met en la ración puede deprimir la ingestión de alimento. De la misma forma Velle et al. (1997), con infusiones ruminales crecientes de Met y dosis elevadas (600 mMol), observan una disminución transitoria de la ingestión de alimento que no se observó con infusiones de otros AA a dosis semejantes.

Knight et al. (1998) también observan que la administración de Hidroximetionina (20 g/d antes del parto y 50 g/d después del parto) aumenta significativamente la ingestión (+1,5 kg/d) en la semana siguiente al parto y Carson et al. (1998) obtienen incrementos significativos de la ingestión después del parto con un aporte de 12,9 g/d Lis y 19,5 g/d Met cuando las vacas ingieren niveles altos de proteína no degradable (UIP) antes del parto y no cuando los niveles fueron bajos.

También se ha observado en varios trabajos (Overton et al., 1996; Kröber et al., 1998) que la suplementación con Met incrementa la grasa de la leche, sugiriendo Robinson et al. (1998) que la Met puede tener la capacidad de estimular la síntesis de los componentes de la leche, independiente de que sea o no un AA limitante. En este sentido, Sharma y Erdman (1988), tal como se ha comentado anteriormente, indican que la Colina sintetizada a partir de la Met puede ser la responsable del incremento en grasa de la leche.

También la Met parece que mejora el estado metabólico general de la vaca al inicio de la lactación ya que parece jugar un papel fundamental en la gluconeogénesis del hígado, especialmente en vacas en balance energético negativo (Rulquin y Delaby, 1997). Auboiron et al. (1995) demostraron que la Metionina aumenta la secreción de VLDL (*very low density lipoproteins*) en terneros subnutridos, por lo que podría intervenir en la eliminación de ácidos grasos del hígado.

Peel y Patton (1998) estudian los factores de la dieta que más afectan a una respuesta positiva por la suplementación con Met y obtienen que el aporte de Lis

metabolizable es el que explica mayor cantidad de la variación ($r^2 = 0,81$). Asimismo, en vacas primíparas, observan que la cantidad de grasa de la ración afecta negativamente a la respuesta.

En relación al efecto de la Lis, Schaw et al. (1992) obtienen respuestas lineales a la suplementación de Lis desde un 13,2% del total de AA esenciales en el duodeno hasta el 14,8 % en dietas ricas en maíz y con 10 g de metionina añadida en todos los casos. Sin embargo, Robinson et al. (1998) no obtienen resultados incrementando el aporte de lisina desde 13,4 %AAE hasta un 15,2 %EAA y añadiendo 21 g de Lis protegida, concluyendo que otros AA pueden ser los limitantes.

En el caso de las raciones de ensilado de alfalfa y soja tratada con calor comentadas anteriormente, Armentano et al. (1997) señalan que son deficitarias únicamente en Met, puesto que la suplementación de 5-10g/d de MetP aumenta linealmente el contenido en proteína de la leche (2,89-2,99%), sin observarse mejora de los resultados al añadir 15 g/d de LisP.

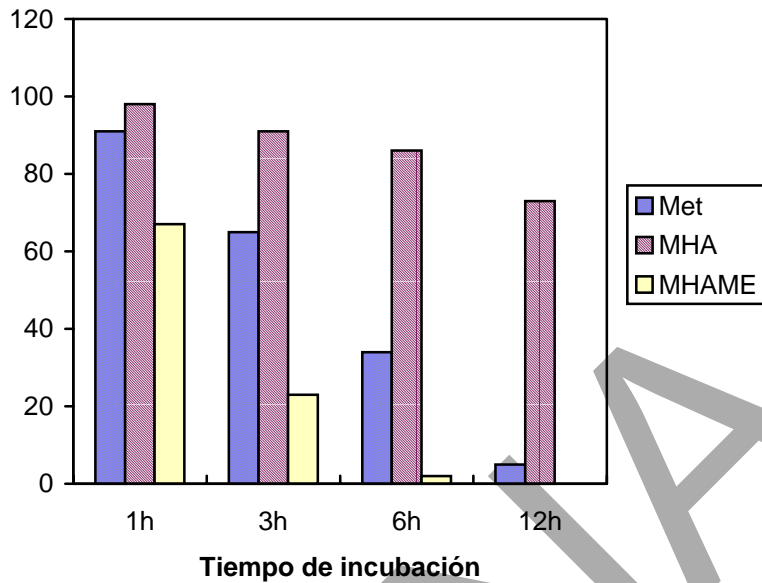
Son interesantes los trabajos de Wu et al (1997), quienes observan la existencia de interacción entre la cantidad de proteína no degradable de las dietas preparto y la suplementación con AA protegidos en las dietas de lactación. Así, 10,5 g MetP y 15 g de LisP son capaces de incrementar el contenido en proteína de la leche (2,83-2,96%) cuando los animales han recibido una dieta antes del parto con proteína de baja degradabilidad y no, si la degradabilidad de la proteína de la dieta es alta. Resultados algo contrarios obtienen Carson et al. (1998), quienes suplementando con 12,9 g de LisP y 19,5g de MetP observan que aumenta más la proteína de la leche en dietas no suplementadas antes del parto con AA protegidos que en las que recibían suplemento antes del parto.

3.5.3.- Empleo de análogos sintéticos de aminoácidos

El análogo de la Met (2-amino, 4-metil-tio butanoico) más conocido es el MHA o Metionin-hidroxi-análogo (2-hidroxi, 4 metil-tio butanoico), en el que se sustituye el grupo amino del aminoácido por un grupo hidroxilo. La utilización eficiente de la MHA como fuente de Met por los rumiantes fue puesta de manifiesto por Belasco (1980). La posible razón de su menor degradabilidad ruminal se basa en que es peor utilizada por los microorganismos que la Met y, como es soluble, puede potencialmente dejar el rumen más rápido que otros AA protegidos sólidos.

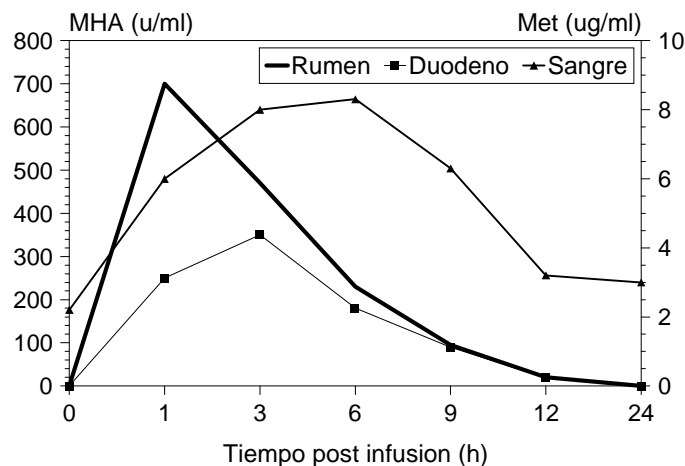
En la figura 3 se recogen los datos de Patterson y Kung (1988) sobre la degradabilidad comparada en condiciones *in vitro* de la Met, MHA y MHAME (Metionin-hidroxi-análoga-metil-éster. Como puede observarse, la desaparición de la MHA es significativamente menor que la de Met. La MHAME desaparece totalmente, ya que se convierte en MHA como han observado Patterson y Kung (1988).

**Figura 3. - Resistencia a la degradación *in vitro* de la Metionina (Met),
 Metionina hidroxi análoga (MHA) y Metionina hidroxi análoga-metil éster (MHAME)
 (Patterson y Kung, 1988)**



Koenig et al. (1996) estudiaron el comportamiento *in vivo* de la MHA en vacas lecheras fistulizadas en rumen y duodeno, obteniendo que el 40% de la MHA es capaz de pasar el rumen sin ser degradada. Aproximadamente un 9% parece ser absorbida en el omaso y un 31% llega al intestino delgado. En la figura 4 se puede observar, según estos mismos autores, la evolución de concentración de la MHA en el rumen, duodeno y suero sanguíneo en el tiempo tras la introducción en el rumen (las vacas no aceptaron el alimento) de 90 g de MHA. Se observa así un pico de MHA en el rumen a 1h después de la administración del alimento y 3h después en el duodeno. A las 6h se alcanzó el máximo en el suero sanguíneo.

Figura 4.- Cinética de la Metionina hidroxi análogo en el aparato digestivo y en sangre de vacas lecheras (Koenig et al., 1996)



En función de estos datos y teniendo en cuenta la utilización eficiente de la MHA por los rumiantes (Belasco, 1980), se puede considerar que el aporte de Met al duodeno a partir de la MHA ingerida es próximo al 40%.

3.5.4.- Conclusiones a la utilización de aminoácidos

Podemos concluir que la suplementación duodenal de aminoácidos en vacas de leche es interesante, sin embargo a la hora de decidir que tipo de suplemento hay que utilizar serán los motivos económicos los que decidirán que tipo de suplemento y grado de protección ruminal y liberación intestinal es mejor utilizar.

Es importante señalar la importancia de la calidad de los suplementos protegidos, sobre todo en relación a la metionina, teniendo en cuenta que la forma libre no se degrada en un 30 % y que la MHA no se degrada en un 40 %.

4.- REFERENCIAS

- ARMENTANO, L.W., BERTICS, S.J. y DUCHARME, G.A. (1997) *J. Dairy Sci.* **80**: 1194-1199.
- AUBOIRON, S., DURAND, D., ROBERT, J.C., CHAPMAN, M.J. y BAUCHART, D. (1995) *Reprod. Nutr. Dev.* **35**: 167.
- BAKER, K. (1995) En: *Bioavailability of nutrients for animals Aminoacids, minerals and vitamins*. Ed. C. Ammerman, D.H. Baker, A.J. Lewis. Academic Press. New York.
- BALDWIN, R.L., FRANCE, J. y GILL, M. (1987a) *J. Dairy Res.* **54**: 77.
- BALDWIN, R.L., THORNLEY, J.H.M. y BEEVER, D.E. (1987b) *J. Dairy Res.* **54**: 107.
- BALDWIN, R.L., FRANCE, J., BEEVER, D.E., GELL, M. y THORNLEY, J.H.M. (1987c) *J. Dairy Res.* **54**: 133.
- BELASCO, I.J. (1980) *J. Dairy Sci.* **63**: 775-784.
- BELIBASAKIS, N.G. y TSIRGOGIANNI, D. (1996) *Anim. Feed Sci. Tech.* **64**: 53-59.
- BIEBER-WLASCHNY, M. (1988) En: *Nutrition and lactation in the dairy cow*. Ed. P.C. Garnsworthy. Butterworths. London. pp: 135-156.
- BREVES, G., BRANDT, M., HOELLER, H. y ROHR, K. (1981) *J. Agric. Sci.* **96**: 587-591.
- CAMPELL, J.M., MURPHY, M.R., CHRISTENSEN, R.A. y OVERTON, R.R. (1994) *J. Dairy Sci.* **77**: 566-575.
- CARSON, V.M., WHITEHOUSE, N.L., KOLINSKY, D., GARTHWAITE, B.D., PIEPENBRINK, M.S. y SCHAWB, C.G. (1998) *J. Dairy Sci.* **81** (Suppl. 1): 295 (Abstr.).
- CERVANTES, A., SMITH, T.R. y YOUNG J.W. (1996) *J. Dairy Sci.* **79**: 105-113.
- CHALUPA, W. (1976) *J. Anim. Sci.* **43**: 828-834.
- CHALUPA, W. y SNIFFEN, C.J. (1991) *Protein and amino acid nutrition of lactating dairy cattle. in: dairy nutrition management*. Vet. Clinics of North America. Food animal Practice, Vol 7 N2: 353-372
- CHALUPA, W. y SNIFFEN, C.J. (1996) *Anim. Feed Sci. Tech.* **58**: 65-75.
- CHIQUETTE, J., GIRARD, C.L. y MATTE J.J. (1993) *J. Anim. Sci.* **71**: 2793-2798.
- COELHO, M.B. (1991) *Feed Manag.* **42**: 24-35.
- COOK, R.M., BROWN, R.E. y DAVIS, C.L. (1965) *J. Dairy Sci.* **48**: 476.
- COTTLE, D.J. y VELLE, W. (1989) *Brit. J. Nutr.* **61**: 397-408.

XIV Curso de Especialización
AVANCES EN NUTRICIÓN Y ALIMENTACIÓN ANIMAL

- DEUCHLER, K.N., PIPEROVA, L.S. y ERDMAN, R.A. (1998) *J. Dairy Sci.* 81: 238-242.
- DI COSTANZO, A., SPAIN, J.N. y SPIERS, D.E. (1997) *J. Dairy Sci.* 80: 1200-1206.
- DOREAU, M. y OTTOU, J.F. (1996) *J. Dairy Sci.* 79: 2247-2254.
- DOYLE, P.T. y ADAMS, N.R. (1980) *Aust. Vet. J.* 56: 331-334.
- DUMOULIN, P.G., GIRARD, C.L., MATTE, J.J. y ST-LAURENT, G.J. (1991) *J. Anim. Sci.* 69: 1657.
- ERDMAN, R.A. (1992) En: *Large dairy herd management*. Ed. H.H. Van Horn y C.J. Wilcox. ADSA, Champaign, IL. pp: 297-308.
- ERDMAN, R.A. y SHARMA, B.K. (1991) *J. Dairy Sci.* 74: 1614-1647.
- ERDMAN, R.A., SHAVER, R.M. y VANDERSALL, J.H. (1982) *J. Dairy Sci.* 65: 117.
- FOX, D.G., SNIFFEN, C.J., O'CONNER, J.D., RUSSELL, J.B. y VAN SOEST, P.J. (1990) *The Cornell net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets*. Search: Agriculture. Ithaca, NY, Cornell Univ. Agric. Exp. Sta., N° 34.
- FRASER, D.L., ORSKOV, E.R., WHITELOW, F.G. y FRANKLIN, M.J. (1991) *Livest. Prod. Sci.* 28: 235-252.
- FRYE, T.M., WILLIAMS, S.N. y GRAHAM, T.W. (1991) En: *Beef cattle nutrition*. Vet. Clinics of North America: Food Animal Practice. Vol 7 N1.
- GIRARD, C.L., MATTE, J.J. y LÉVESQUE, J. (1992) *J. Anim. Sci.* 70: 2847-2851.
- GIRARD, C.L., MATTE, J.J. y TREMBLAY, G.F. (1995) *J. Dairy Sci.* 78: 404-411.
- GIRARD, C.L. y MATTE, J.J. (1998) *J. Dairy Sci.* 81: 1412-1419.
- HERDT, T.H. y STOWE, H.D. (1991) En: *Dairy nutrition management*. Vet. Clinics of North America: Food Animal Practice.
- HOELLER, H., BREVES, G., LEBZIEN, P. y ROHR, K. (1985) *Proc. of the Nutrition Society* 44: 146A.
- HORNER, J.L., COPPOCK, C.E., LABORE, J.M. y NAVE, D.H. (1985) En: *80th ADSA annual meeting* 60: 162-163.
- HUBER, J.T. (1988) En: *The ruminant animal. Digestive physiology and nutrition*. Ed. D.C. Church. A Reston book, Prentice Hall, New Jersey. pp: 313-325.
- HUNGATE, R.E. (1966) *The rumen and its microbes*. Academic Press, New York. 533 pp.
- HUTJENS, M.F. (1992) En: *Large dairy herd management*. Ed. H.H. Van Horn y C.J. Wilcox. ADSA, Champaign, IL. pp: 309-317.
- JASTER, E.H., HARTNELL, G.F. y HUTJENS M.F. (1983) *J. Dairy Sci.* 66: 1046-1051.
- JEAN-BLAIN, C. y ALVES DE OLIVEIRA, L. (1994) *INRA Prod. Anim.* 7: 71-84.
- KNIGHT, C.D., ANDREWS, K.A. y KOENIG, K.M. (1998) *J. Dairy Sci.* 81 (Suppl 1): 294 (Abst.).
- KÖENIG, K.M., RODE, L.M., KNIGHT, C.D., MCCULLOUGH, P.R., ANDREWS, K.A. y KUNG, L. Jr. (1996) *J. Anim. Sci.* 74 (Suppl. 1): 345 (Abstr.).
- KRÖBER, T.F., SUTTER, F., SENN, M. y KREUZER, M. (1998) *Effects of supplying leucine, lysine and methionine to cows at a level of calculated deficiency*. Proc. 49th Annual Meeting of EAAP.
- LEIBHOLZ, J. (1971) *J. Agr. Res.* 22: 639.
- MATISON, G.W. (1986) *B-Vitamins, Choline, Inositol and Para-aminobenzoic acid for ruminants*. Official Proc. of the 21st Annual Pacific Northwest Animal Nutrition Conference. Westin Bayshore, Vancouver.
- MATTHEWS, J.C. y WEBB, K.E. (1995) *J. Anim. Sci.* 73: 3463-3475.
- MCCOLLUM, M.Q., WEBB, K.E.Jr. (1997) *Absorption of (14C)-2-hydroxy-4-methylthio-utanoic acid by ovine omasal and ruminal epithelia*. FASEB J., 11: A414.
- MCDOWELL, L.R., WILLIAMS, S.N., HIDIROGLOU, N., NJERU, C.A., HILL, G.M., OCHOA, L. y WILKINSON, N.S. (1996) *Anim. Feed Sci. Tech.* 60: 273-296.
- MILLER, B.L., MEISKE, J.C. y GOODRICH, R.D. (1986) *J. Anim. Sci.* 62: 473-483.
- NICHOLS, J.R., SCHINGOETHE, D.J., MAIGA, H.G., BROUK, M.J., PIEPENBRINK, M. J. y PIEPENBRINK, M.S. (1998) *J. Dairy Sci.* 81: 482-491.

XIV Curso de Especialización
AVANCES EN NUTRICIÓN Y ALIMENTACIÓN ANIMAL

- NRC (1989) *Nutrient requirements of dairy cattle*. 6th revised edition. National Academy Press. Washington, D.C. 157 pp.
- OVERTON, T.R., LACOUNT, D.W., CICELA, T.M. y CLARK, J.H. (1996) *J. Dairy Sci.* 79: 631-638.
- OVERTON, T.R., EMMERT, L.S. y CLARK, J.H. (1998) *J. Dairy Sci.* 81: 221-228.
- PATTERSON, J.A. y KUNG, L. (1988) *J. Dairy Sci.* 71: 3292-3301.
- PEEL, C.J. y PATTON, R.A. (1998) *J. Dairy Sci.* (Suppl. 1): Abstr.
- POLAND, C. E., CUMMINS, K.A., SNIFFEN, C.J., MUSCATO, T.V., VICINI, J.L., CROOKER, B.A., CLARK, J.H., JOHNSON, D.G., OTTERBY, D.E., GUILLAUME, B., MULLER, L.D., VARGA, G.A., MURRAY, R.A. y PIERCE-SANDNER, S.B. (1991) *J. Dairy Sci.* 74: 2997.
- ROBINSON, P.H. (1996) *Anim. Feed Sci. Tech.* 59: 81-86.
- ROBINSON, P.H., CHALUPA, W., SNIFFEN, C.J., JULIEN, W.E., SATO, H., WATANABE, K., FUJIEDA, T. y SUZUKI, H. (1998) *J. Dairy Sci.* 81: 1364-1373.
- RULQUIN, H. (1986) *Repr. Nutr. Dév.* 26: 347-348.
- RULQUIN, H. (1992) *INRA Prod. Anim.* 5: 29-36.
- PUCHALA, R., SHENKJORU, T., LUO, J. y SAHLU, T. (1998) *J. Anim. Sci.* 76 (Suppl. 1): 362 (Abstr.).
- RULQUIN, H. y VERITÉ, R. (1993) En: *Recent Advances in Animal Nutrition* Ed. P.C. Garnsworthy & D.J.A. Cole. Nottingham University Press, Nottingham. pp:55-77
- RULQUIN, H. y DELABY, L. (1997) *J. Dairy Sci.* 80: 2513-2522.
- SHARMA, B.K. y ERDMAN, R.A. (1988) *J. Dairy Sci.* 71: 2406-2411.
- SHARMA, B.K. y ERDMAN, R.A. (1989) *J. Nutr.* 119: 248-254.
- SCHINGOETHE, D.J. (1996) *Anim. Feed Sci. Tech.* 60: 153-160.
- SCHWAB, C.G. (1996) *Anim. Feed Sci. Tech.* 59: 87-101.
- SOCHA, M.T. y SCHWAB, C.G. (1994) *J. Anim. Sci.* 72 (Suppl 2): 124 (Abstr.).
- SOMMERFELDT, J.L., NAPOLI, J.L. y LITLEDIKE, E.T. (1983) *J. Nutr.* 113: 2595.
- STEINBERG, W. y KAUFMAN, W. (1977) *Zeitsch. Für Tierphys., Tierer. Futter.* 39: 289-301.
- ULLREY, D.E. (1972) *J. Anim. Sci.* 35: 648-657.
- VELLE, W., SJAASTAD, O.V., AULIE, A., GRONSET, D., FEIGENWINTER, K. y FRAMSTAD, T. (1997) *J. Dairy Sci.* 80: 3325-3332.
- WU, Z., FISHER, R.J., POLAN, C. E. y SCHWAB, C.G. (1997) *J. Dairy Sci.* 80: 722-729.
- XU, S., HARRISON, J.H., CHALUPA, W., SNIFFEN, C., JULIEN, W., SATO, H., FUJIEDA, T., WATANABE, K., UEDA, T. y SUZUKI, H. (1998) *J. Dairy Sci.* 81: 1062-1077.
- ZINN, R.A., OWENS, F.N., STUART, R.F., DUNBAR, J.R. y NORMAN, B.B. (1987) *J. Anim. Sci.* 65: 267-277.