

# AVANCES EN LA NUTRICIÓN PROTEÍCA DEL VACUNO LECHERO Y FORMULACIÓN DE RACIONES EN BASE A AMINOÁCIDOS METABOLIZABLES.

## FACTORES QUE AFECTAN A LAS NECESIDADES DE PROTEÍNA DEGRADABLE Y PROTEÍNA NO DEGRADABLE

PONENCIA PRESENTADA EN EL XV CONGRESO INTERNACIONAL ANEMBE DE MEDICINA BOVINA

Prof. Charles G. Schwab  
Universidad de  
NEW HAMPSHIRE USA

El empleo del concepto de dietas equilibradas en base a los aminoácidos (AA) continúa aumentando en los Estados Unidos de América. Sin embargo, el incremento en la tasa de empleo, medido en gran parte por las ventas de metionina protegida (Met), ha estado ligado en gran medida a la evolución del precio de la leche y el coste de los alimentos, siendo menos utilizado cuando el coste de la alimentación es más elevado y/o el precio de la leche y proteína láctea es más bajo.

Sin embargo, en mi experiencia, incluso en los momentos en que el margen de rentabilidad de las explotaciones es escaso, se puede emplear con éxito el racionamiento en base a aminoácidos.



El sistema de formulación de Cornell (Cornell Net Carbohydrate Protein System) y el CPM Dairy fueron los dos primeros modelos disponibles para formular raciones en base a aminoácidos. La publicación del NRC 2001 con la aparición de un nuevo modelo, dio un interés adicional en la formulación de las raciones lecheras no solo para cubrir los requerimientos tradicionales de proteína como proteína degradable en el rumen (RDP) y proteína no degradable en el rumen (RUP) sino también para equilibrar las raciones en al menos los dos primeros aminoácidos limitantes, la lisina y la metionina. El riguroso desarrollo del submodelo de suministro de aminoácidos proporcionado por el NRC 2001 acompañado por las recomendaciones en las necesidades para LYS y MET, da mucha solidez al principio de "proteína ideal" dentro del sistema que propone.

Las raciones lecheras pueden ser formuladas por lo tanto para asegurar un empleo más eficiente de la proteína de la ración mientras se optimiza la producción de leche y sus componentes, especialmente la proteína láctea. En si mismo, esto presenta la oportunidad al productor de incrementar el retorno a la inversión por los costes de alimentación, obteniendo un producto de mayor calidad con un incremento marginal del coste de alimentación. Sin embargo, los beneficios ocultos en algunos casos pueden contribuir mucho, sino más, en la rentabilidad de la explotación; las raciones equilibradas en aminoácidos han demostrado también jugar un papel preventivo para ciertas enfermedades metabólicas, con efectos positivos sobre el balance energético y mejora en los rendimientos reproductivos.

## » La teoría de los aminoácidos limitantes

Veinte AA son necesarios para la síntesis de proteína. Diez de ellos son clasificados como AA esenciales (EAA) y otros diez como no esenciales (NEAA).

Los EAA se refieren a aquellos aminoácidos que no pueden ser sintetizados por los tejidos animales, o al menos no en la cantidad suficiente para cubrir los requerimientos de la síntesis proteica. Por lo tanto, deben ser aportados y absorbidos. Cuando son absorbidos en la cuantía necesaria para el animal, las necesidades de EAA se reducen y su utilización para la síntesis proteica alcanza su máxima eficacia. Los NEAA son rápidamente sintetizados en los tejidos animales a partir de otros aminoácidos, o a partir de metabolitos del metabolismo intermediario, así como de un suministro en exceso de EAA.



A diferencia de los EAA, hay pocas pruebas de que el perfil de los NEAA es importante para la eficiencia de empleo de los AA absorbidos para la síntesis proteica. Hay muy poca o casi ninguna evidencia que sugiera que los NEAA como grupo de aminoácidos puedan ser más limitantes que los EAA cuando las vacas son alimentadas con raciones convencionales. Sin embargo, se reconoce también que la investigación actual es demasiado escasa como para excluir el hecho de que un selectivo grupo de NEAA, si se proporciona en cantidades mayores a lo que proporciona la dieta, pueda tener algún efecto beneficioso sobre los animales en determinadas circunstancias.

Los AA absorbidos son proporcionados a los rumiantes por la proteína microbiana, RUP, y la proteína endógena. El término AA limitante ha sido tradicionalmente empleado para identificar los EAA que son aportados habitualmente en cantidades más pequeñas en relación a sus necesidades. La teoría de los AA limitantes ha sido adoptada como un dogma central en la nutrición proteica animal. La teoría es quizás mejor descrita por el ejemplo del barril y las tablas. Si las tablas que conforman un barril fueran de diferente longitud, en relación a la longitud de la tabla que define la forma del barril y que le daría su máxima capacidad, el volumen de líquido que el barril podría almacenar estará determinado por la longitud de la tabla más corta. La tabla más corta podría ser considerada como la más limitante para llenar el barril, porque determina la capacidad de volumen del mismo. De una manera similar, la ef-

ciencia del uso de los AA absorbidos se determina por el suministro del primer AA limitante.



En el barril que se muestra en la figura, la metionina (MET) es el primer AA limitante. Si el suministro de MET (representado por la longitud de la tabla), relativo a sus necesidades, se incrementa tanto como la lisina (LYS), entonces la LYS y la MET serán AA co-limitantes. Las investigaciones y las experiencias de campo indican que la MET es el AA más frecuentemente limitante de la producción de proteína láctea, y la LYS es más frecuentemente el segundo AA limitante. Por lo tanto, un objetivo importante a la hora de diseñar raciones para el vacuno lechero en base a AA es alimentar con fuentes complementarias de proteínas y formas ruminalmente protegidas de AA (MET y LYS) para asegurar que las tablas de MET y LYS en el barril son de una longitud adecuada, y de la misma longitud (su aporte en relación a sus necesidades es el mismo).



## ► Aminoácidos limitantes

LYS y MET han sido identificados como los dos AA limitantes para el vacuno lechero (NRC 2001). Esto es debido en gran medida a su baja concentración en la proteína de los alimentos comparada con las concentraciones requeridas en la proteína metabolizable (MP) y la proteína sintetizada en el rumen por las bacterias. El NRC 2001 sugiere concentraciones de LYS y MET en la MP para el máximo aprovechamiento de la MP en la producción de proteína láctea de 7,2 y 2,4 %, respectivamente. Bajo casi todas las circunstancias, estas concentraciones no pueden ser alcanzadas y como resultado la "recomendación práctica" para LYS y MET es de 6,6 y 2,2% si se emplea el modelo del NRC 2001. Estas recomendaciones pueden ser cubiertas en raciones basadas en silo de maíz empleando una combinación de suplementos proteicos ricos en LYS (como harinas de sangre, de pescado o de soja) y un producto a base de MET ruminalmente protegido (RPMET) y limitando la ingesta de proteína no degradable o by-pass (RUP) a los niveles necesarios. El no empleo de RPMET requiere la utilización de una mezcla de fuentes de proteína que alcance una adecuada relación LYS:MET en la proteína metabolizable (MP) de 3:1, y como resultado, más bajas concentraciones de ambos en la MP.

La histidina ha sido identificada también en numerosos estudios como primer AA limitante cuando se emplea ensilado de hierba y cebada y/o avena en las raciones, con o sin harina de plumas como única fuente de proteína by-pass (Kim et al. 1999, 2000, 2001<sup>a</sup>, 2001<sup>b</sup>; Huhtanen et al, 2002;

Coronen et al. 2000; Vanhatalo et al. 1999). Podemos especular con que la histidina es el tercer AA limitante en algunas raciones basadas en maíz, particularmente cuando no se emplea harina de sangre en las raciones.

Sin embargo, el significado práctico de ser capaces de determinar los AA que son limitantes en cada caso sigue siendo una cuestión académica a día de hoy. Todavía hoy es un gran reto alcanzar el 90 % de las necesidades para LYS y MET con las materias primas disponibles. Y hasta que estos niveles no puedan ser alcanzados, es muy poco probable que podamos conocer hasta que punto la respuesta al aporte de LYS y MET puede ser inhibida por la limitación de otros AA.

## ► Revisión de los beneficios de racionar en base a aminoácidos

Hay gran cantidad de trabajos y de muy buena calidad que resumen los beneficios asociados a enriquecer las raciones con LYS y MET metabolizable (NRC 2001; Rulquin y Verite, 1993; Sloan, 1997).

### 1. Mejorar la producción de leche y de sus componentes

Garthwaite et al. (1998) resumieron 12 pruebas de campo publicadas respecto a los efectos de enriquecer las raciones con LYS y MET metabolizable. Siete de estas pruebas comenzaron inmediatamente en el postparto o en las primeras 2-3 semanas

de lactación, y continuaron durante al menos 120 días de lactación; la producción de leche se incrementó un promedio de 1,5 libras, la proteína en la leche 80 gr, y el porcentaje en la proteína de la leche subió en 0,16 puntos.

En cinco estudios similares donde las raciones de pre-parto y primer tercio de lactancia fueron enriquecidas en LYS y MET, la producción media diaria subió hasta en cinco libras, la proteína de la leche en 112 gr, y el porcentaje de proteína en leche en 0,09 unidades. En estas cinco pruebas, la grasa de la leche también subió en 115 gr y el porcentaje graso de la leche en 0,10 unidades. En todos los casos, las raciones "equilibradas en aminoácidos" tuvieron los mismos niveles o incluso más bajos de proteína bruta que las dietas basales. Este resumen de experimentos no solo demuestra la importancia de enriquecer las raciones con LYS y MET sobre el rendimiento lechero, sino que también demuestra que los principios de equilibrar las raciones en MET y LYS deberían ser aplicados también en las raciones de pre-parto para tener el máximo beneficio durante la lactación.

Durante los últimos años hemos estado trabajando con varias situaciones de granja donde las raciones fueron enriquecidas con LYS y MET. La verdad es que las respuestas han sido muy variables, pero en la mayoría de los casos ha habido retorno económico. En algunos casos, la respuesta fue menor de lo esperado pero casi siempre fue debido a un desequilibrio en la nutrición de los carbohidratos (normalmente por una carencia de fibra efectiva o sobrealimentación con carbohidratos no fibrosos), o a la sobrealimentación con proteína by-pass, o sobreestimando la biodisponibilidad de la metionina en el producto RPMET, o por la alimentación con uno o más suplementos proteicos que habían sido dañados por un tratamiento térmico excesivo y tuvieron niveles más bajos de digestibilidad de la LYS en la proteína by-pass (RUP-LYS) de lo esperado. En otros casos, sin embargo, el aumento en el rendimiento lechero ha sido sorprendente, con incrementos importantes en la producción lechera a la vez que había importantes subidas en el porcentaje de proteína de la leche de 0,1 a 0,2 unidades o más, e incrementos también en el porcentaje graso de leche de 0,1 a 0,15 unidades o más. Un retorno a la inversión de 3,5 a 1 es el objetivo de empleo de estos productos y puede ser relativamente fácil de alcanzar en rebaños bien manejados donde se presta cuidadosa atención a los detalles y a los alimentos de muy alta calidad.

## 2. Mayor eficacia de empleo de la Proteína Metabolizable (MP)

Es este un factor esencial para alcanzar el máximo beneficio cuando se equilibran las raciones en LYS y MET. Esencialmente, cuando ambos AA son limitantes, las vacas son sobrealimentadas con el resto de los AA, mientras que cuando son suministrados en cantidades adecuadas esto reduce el exceso de aminoácidos y, a menos que haya un considerable exceso de MP por sobrealimentación de RUP (proteína by-pass), se mejora la eficacia de empleo de MP.

Es muy interesante tener en cuenta que cuando solo se consideran las necesidades de MP, suponiendo que los AA están compensados, los estudios retrospectivos demuestran que la producción de leche no alcanza los valores calculados a partir del aporte de MP en el 90 % de los casos (NRC 2001). En la mayoría de los análisis realizados, Schwab et al. (2004) demostraron que en general la eficacia de empleo de la MP para la secreción de proteína láctea es solo del 0,64 comparado con el valor de los libros del NRC de 0,67, mientras que la utilización de MP se calculó que estuviera por encima de 0,67 cuando en los programas de racionamiento se incorporó el concepto de equilibrio de LYS y MET.

Sería muy interesante al menos prestar un mínimo de atención al contenido de LYS y MET de la MP si se pretende seguir confiando en el factor de 0,67 para la conversión de MP en proteína de leche. Por ejemplo, tratemos de considerar el impacto que una menor eficiencia de empleo de MP podría tener: para una vaca que produce 40 litros de leche al 3% de proteína, si la eficiencia de empleo de la MP cayera de 0,67 a 0,60, la proteína láctea debería ser un 10% menor (120 gr). 120 gr menos de producción de proteína láctea equivale a 2 litros menos de leche con una más baja concentración de proteína (-0,15 %). Los estudios de Pipenbrink et al. (1999) y McLaughlin et al. (2002) demuestran esta importante faceta del equilibrio de las raciones en AA.

Pipenbrink et al. (1999) alimentaron una ración enriquecida con MET e hicieron un estudio dosis-respuesta empleando un diseño en cuadro latino para ir incrementando los niveles aportados de LYS. La secreción de proteína en la leche subió de forma lineal. La respuesta más beneficiosa fue el incremento de 173 gr de proteína en leche (6 libras más de leche, + 0,2% en proteína láctea) al incrementar el aporte

diario de MPLYs a un nivel de 34 gr/día. La eficiencia de empleo de MP para la síntesis de proteína láctea fue solo del 0,53 para una ración no equilibrada y sin incorporación de LYS. La ingesta de materia seca fue la misma. A un nivel óptimo de incorporación de LYS, la eficacia de utilización de MP fue mejorada al 0,67. Del mismo modo, McLaughlin et al. (2002) realizó un experimento muy similar incrementando la producción de proteína láctea en 217 gr/día (4,5 libras más de leche, con + 0,27% de proteína láctea) aumentando el suministro de MP-LYS en 49,5 gr/día. Estos resultados demuestran que cuando solo se considera la MP para tratar de formular las raciones en base a AA, no hay una estimación de los AA que son potencialmente más limitantes. Y el rendimiento lechero es probablemente menos predecible.

Schwab et al. (2004) presentaron una actualización la cual comparaba el aporte de MP, de MET y de LYS como sistemas de predicción del volumen de producción de leche y proteína láctea. El aporte de MP hizo un buen trabajo (r2 de 0,65) en la predicción de la producción de leche y ligeramente mejor en la predicción de producción de proteína láctea (r2 de 0,74). Uno esperaría al final una correlación muy cercana en unidades de proteína por litro de leche. Comparado con la MP, el aporte de MET fue un mejor sistema de predicción tanto del volumen de leche producido (r2 de 0,76) y producción de proteína láctea (r2 de 0,81). Sin embargo, cuando los estudios estuvieron limitados a aquellos en los cuales la relación de LYS:MET en la MP fue menor de 3,25:1, el suministro de LYS se convirtió en la mejor correlación tanto para la producción de leche como para la producción de proteína en leche con un r2 de 0,90.

Este análisis demuestra que la posibilidad de predecir el rendimiento lácteo es mejorada cuando se presta atención al menos a los dos principales AA limitantes. Si formuláramos raciones siguiendo estos criterios, estaríamos reduciendo la variabilidad en la predicción de producción láctea, no incrementándola. Si se continuara, por el contrario, formulando raciones en base únicamente al contenido en MP sin prestar atención a la LYS y MET metabolizable, el rendimiento sería más bajo y menos predecible, y la producción de grasa y proteína en leche no sería la más adecuada, reduciendo el retorno neto de la venta de la leche. Contrariamente al empleo de sistemas tradicionales de formulación de raciones con 18 % de proteína bruta o más, el empleo de la formulación basada en el equilibrio de AA, incrementando los niveles

de LYS y MET en la MP, permitiría que las raciones fueran formuladas al 16,5 o 17,5 % de proteína bruta, mientras se mantiene el incremento en la producción de leche y el incremento en la producción de sus componentes.

## 3. Eficacia alimenticia

El equilibrio de las raciones en LYS y MET no solo lleva a una mejora en la utilización de la MP, sino en general permite mejorar la eficiencia de empleo del alimento en su conjunto. Hutjens (2005) ha propuesto una medida que puede ser utilizada para evaluar la eficiencia alimentaria. Normalmente se expresa como libras de leche corregida al 3,5 % de contenido graso por libra de alimento consumido. Sin embargo, propone otro indicador que incluye tanto la proteína como la grasa, teniendo en cuenta el importante efecto de la producción de proteína láctea:

Libras de leche corregidas al 3,5 % de grasa y proteína =  $(12,82 * \text{lb grasa}) + (7,13 * \text{lb proteína}) + (0,323 * \text{lb de leche})$ .

En los siete estudios de arranque de lactación citados al principio de esta revisión y realizados por Garthwaite et al. (1998), el promedio de mejora de la eficiencia alimenticia fue calculada en +0,08 (1,93 sobre 1,85 libras de leche corregida al 3,5% de grasa por libra de materia seca de alimento consumida).

## 4. Disminución de la incidencia de enfermedades metabólicas

La elevada eficacia del empleo del alimento no puede en sí misma ser un buen indicador de lo saludable que es una ración, si la eficiencia productiva es a expensas de una rápida movilización de las reservas energéticas, lo cual podría conducir a alteraciones metabólicas y a retrasos o fallos reproductivos. Sin embargo, cuando las raciones están equilibradas en LYS y MET, debido a un mejor empleo de la MP, se necesita menos energía para eliminar el exceso de nitrógeno de los aminoácidos en forma de urea, permitiendo que esta energía tenga un uso más productivo. Otras razones que podrían ayudar a explicar la mejor eficiencia en el empleo del alimento pueden estar asociadas a la realidad de que la MET tiene otros importantes papeles en el metabolismo, no solo como un eslabón más en la cadena de formación de la proteína láctea.

La metionina tiene un papel muy favorable sobre el metabolismo hepático debido



a su capacidad como donador de grupos metilo. Una serie de pruebas (Bauchart et al, 1998) ilustra muy claramente el papel que juega la metionina en el metabolismo hepático. La metionina tiene un papel principal asegurando la síntesis de apoproteína B, un componente esencial en la formación del complejo de lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL), la cuál es responsable de la evacuación de los triglicéridos desde el tejido periférico del hígado. Un estudio que ilustra este modo de acción de MET y LYS fue el realizado por Durand et al (1992). Midieron el paso a través del hígado de VLDL antes, después y durante la infusión portal de LYS y MET añadida. Antes y después de la infusión hubo un balance neto negativo, mientras que durante el aporte de LYS y MET el balance fue positivo. A partir de este estudio, el autor lanza la hipótesis de que este fenómeno puede ser debido a que la metionina actúa en tres niveles diferentes.

Primeramente, la metionina es un aminoácido esencial para la construcción de la apoproteína B. En segundo lugar, la metionina parece estar involucrada en la transcripción genética y/o la translación de mRNA para la síntesis de apoproteína B. Y, en tercer lugar, la metionina puede también actuar como donador de grupos metilo que favorece la síntesis de lecitina, la cuál es esencial para la elaboración del grupo hidrofílico de la VLDL hepática. El efecto neto sería una reducción en el riesgo de infiltración grasa del hígado, lo que predispone a problemas como el hígado graso y la cetosis.

Dos estudios de lactaciones fueron simultáneamente llevados a cabo durante las primeras cuatro a seis semanas de lactación. Las vacas se alimentaron para estar engrasadas al parto y, a partir del mismo, recibieron una dieta restringida en energía durante el arranque de lactación. La mitad de las vacas fueron alimentadas con un suplemento de LYS y/o MET. Las mejoras en el rendimiento fueron dramáticas: un extra de 2,5 litros de leche y un incremento de 0,25 unidades porcentuales de proteína en leche. En la segunda prueba, las mejoras en el rendimiento lácteo estuvieron asociadas con una reducción en la circulación de cuerpos cetónicos en la segunda semana de lactación, confirmando que incrementar el suministro de MET y LYS puede ayudar a reducir las alteraciones metabólicas.

### » Mejoras en la reproducción

Los conocimientos convencionales indicarían que cualquier manipulación de la dieta que ayude a minimizar las alteraciones metabólicas y a mejorar el estado energético de las vacas en arranque de lactación debería tener también un potencial muy positivo para influir sobre los parámetros reproductivos (Santos, 2005). Robert et al (1996) observó una mejor involución uterina (porcentaje de animales cuyo útero ha regresado a un tamaño normal a los 45 días postparto). Esto se asoció con una reducción en el número de inseminaciones necesarias para la concepción, pero no hubo una relación realmente significativa.

También midieron los niveles de progesterona en leche cada tres días durante los primeros 112 días de lactación para analizar la ciclicidad. Fueron capaces de demostrar que las vacas recibiendo una ración equilibrada en LYS y MET tuvieron más altos niveles de progesterona antes de la ovulación fértil que los animales control. Se considera que LYS y MET potencian una ovulación más fuerte. Durante los cinco días después de la inseminación, los niveles de progesterona también fueron más elevados, lo que se considera un factor muy positivo para que la implantación del embrión tenga éxito. Thiaucourt (1996) demostró en pruebas de campo (53 granjas, 2000 vacas) que alimentando con raciones formuladas para incrementar los niveles de LYS y MET se mejoraba el intervalo parto a primera inseminación y el intervalo entre partos en cinco días.

El otro camino, a través del cual la administración de raciones equilibradas en aminoácidos podría tener un efecto positivo sobre la reproducción, es la reducción en los altos niveles circulantes de urea en sangre, por la disminución del porcentaje de proteína bruta en la ración, sin perjudicar al rendimiento productivo. Está generalmente aceptada la asociación negativa entre el nitrógeno uréico en plasma, suero y leche y la tasa de concepción en vacas lecheras de alta producción (Butler, 1996; Ferguson y Chalupa, 1993; Santos, 2005). Elrod y Butler (1993) encontraron que sobrealimentando con RUP o RDP en la dieta, el pH uterino se redujo sobre el día 7 del ciclo estral de novillas y, en el caso concreto de sobrealimentación con RDP, fue asociado con una considerable bajada en la tasa de concepción.

### » ¿Un papel sobre la respuesta inmune?

El papel de MET y LYS sobre la función inmune en vacas lecheras está todavía en investigación. Se ha demostrado en gallinas que el nivel de aminoácidos azufrados juega un papel determinante a la respuesta inmunitaria frente a enfermedades. De forma similar, en terneros de engorde estresados por su llegada al cebadero, Spears et al (1996) demostraron que fortaleciendo las dietas con LYS y MET se redujo la temperatura rectal de los animales, comparado a animales control, después de ser inoculados con IBR intranasal. Además, hubo una mejora en la respuesta humoral indicado por una titulación más alta de IgM.

En vacas lecheras hay solo evidencias indirectas sobre el impacto positivo que en la elaboración de raciones equilibradas en LYS y MET pueden tener sobre el sistema inmunitario. En el estudio de campo de Thiaucourt (1996) con 2000 vacas y 53 granjas, se observaron las mejoras clásicas en porcentaje de proteína en leche (+0,13%), y en el incremento de producción láctea en arranque de lactación (+3,5 libras/día), cuando las raciones fueron equilibradas en LYS y MET. Encontraron, además, una reducción en el conteo de células somáticas de 50.000 unidades por mililitro. El autor señaló una serie de factores que podrían haber contribuido a este fenómeno: la respuesta inmune general es mejorada si los animales tienen una mejora en su estado energético, el suministro extra de metionina incrementa los niveles circulantes de taurina, que son muy importantes para mantener la estabilidad de las membranas celulares e interviene en reacciones antioxidantes, y se mejora la síntesis del anillo de queratina (una proteína rica en cisteína) en la punta del canal del pezón, mejorando la protección contra una infección intramamaria.

## ► Niveles óptimos de formulación de LYS y MET en MP

En este momento, nuestros conocimientos no están lo bastante desarrollados para determinar con seguridad los requerimientos de cada aminoácido para mantenimiento, crecimiento, lactación y gestación. La propuesta más comúnmente aceptada es la respuesta indirecta propuesta en primer lugar por Rulkin y Verite (1993). Esta metodología fue posteriormente empleada en el NRC de 2001. La ventaja de este método es que la determinación del suministro y las necesidades de aminoácidos son interdependientes. Las necesidades son estimadas como una función dosis respuesta usando los estudios previos que estiman el aporte de aminoácidos metabolizables. Por lo tanto, las necesidades son dependientes de los aportes y pueden variar entre diferentes sistemas de formulación. Para los más puristas, debería haber sólo un valor de necesidades para el animal definido según su estado fisiológico y determinado por su nivel de producción, siendo por lo tanto más correcto emplear la terminología

“niveles o recomendaciones de formulación” que necesidades.

En la figura 1 se puede observar la representación de las curvas empleadas como dosis respuesta para establecer los niveles de LYS y MET, como porcentaje de MP, necesarios para optimizar la concentración de proteína en leche en NRC 2001. Se estableció como nivel óptimo el 7,2% y 2,4% de MP para LYS y MET respectivamente. Como fue indicado con anterioridad, estos niveles no pueden ser alcanzados en la práctica. Esto es particularmente cierto en raciones basadas en maíz, donde es muy difícil alcanzar niveles de LYS más altos que 6,7% de MP. Así, el objetivo práctico de formulación sería de 6,66 para LYS y 2,22 para MET.

Es importante anotar que los niveles deseados de MET en la MP dependerán del nivel de LYS que pueda ser aportado. El primer paso es maximizar LYS como porcentaje de MP y, el segundo paso, es equilibrar MET, usando un producto de MET protegida si fuera necesario, manteniendo siempre una relación LYS:MET en MP de 3,04 a 1. Esto maximizaría la eficiencia de empleo de MP y sería preventivo a la sobrealimentación de MET. Estos niveles objetivo de formulación serán algo diferentes dependiendo del sistema de formulación empleado. Por ejemplo, cuando se utilice CNCPS o CPM Dairy, los niveles de formulación sugeridos son de 6,83% y 2,19% de MP. Esto se debe a que estos modelos, generalmente, predicen niveles más altos de LYS en MP que el NRC. El nivel objetivo de formulación de LYS tiene que ser ajustado de acuerdo a este sistema y la relación óptima de LYS y MET también cambia; una relación de 3,12 a 1 entre LYS y MET se sugiere como lo más óptimo si se emplean los sistemas CNCPS y CPM Dairy.

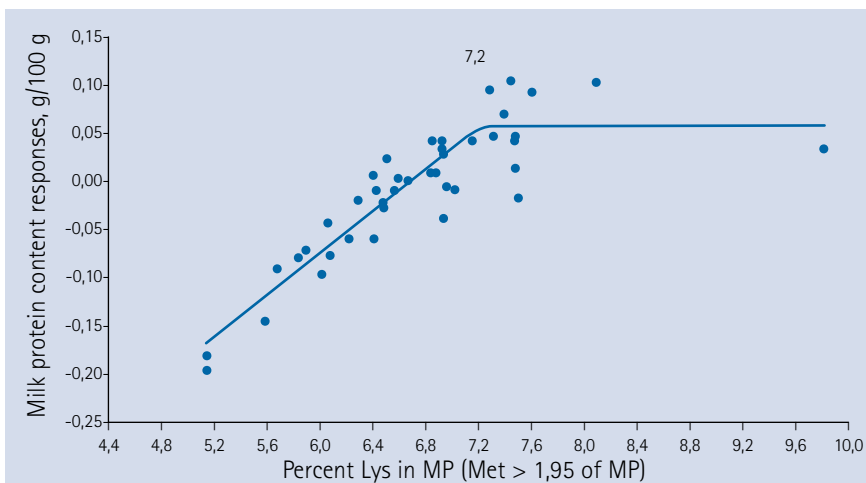


Figura 1.

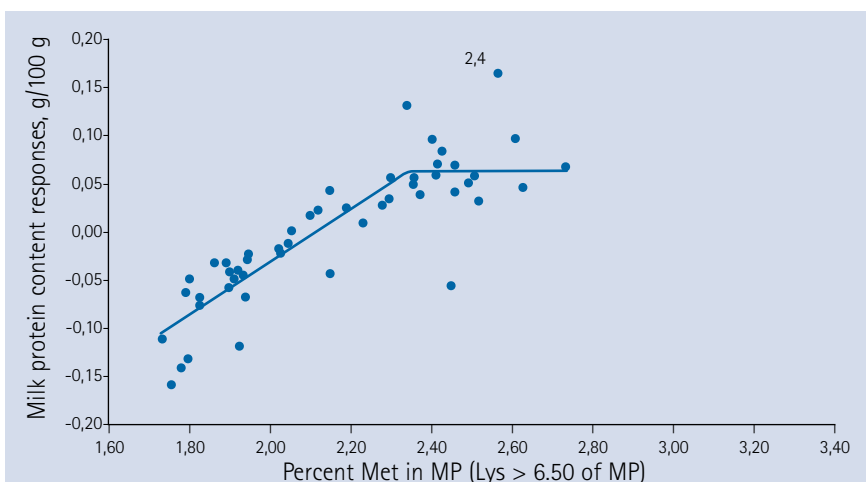


Figura 2.

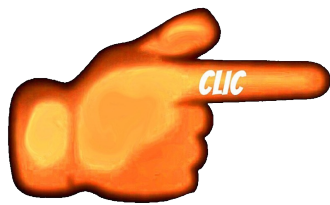
## ► Bibliografía

- BAUCHART, D., D. DURAND, D. GRUFFAT, AND Y. CHILLIARD. (1998). MECHANISM OF LIVER STEATOSIS IN EARLY LACTATION COWS - EFFECTS OF HEPATOPROTECTOR AGENTS. PROC. OF THE CORNELL NUTRITION CONFERENCE, P. 27-37.
- BUTLER, W. R. (1998). REVIEW: EFFECT OF PROTEIN NUTRITION ON OVARIAN AND UTERINE PHYSIOLOGY IN DAIRY CATTLE. J. DAIRY SCI. 81:2533-2539.
- ELROD, C. C., AND W. R. BUTLER. (1993). REDUCTION OF FERTILITY AND ALTERATION OF UTERINE PH IN HEIFERS FED EXCESS RUMINALLY DEGRADABLE PROTEIN. J. ANIM. SCI. 71 :694-701.
- FERGUSON, J. D., AND W. CHALUPA. (1989). SYMPOSIUM: INTERACTION OF NUTRITION AND REPRODUCTION. IMPACT OF PROTEIN NUTRITION ON REPRODUCTION IN DAIRY COWS. J. DAIRY SCI. 72:746-766.
- GARTHWAITE, B. D., SCHWAB, C. G. AND SLOAN, B. K.

Bibliografía y  
Fuente.

[http://axonveterinaria.net/web\\_axoncomunicacion/criaysalud/41/  
cys\\_41\\_Nutricion\\_proteica\\_vacuno\\_lechero.pdf](http://axonveterinaria.net/web_axoncomunicacion/criaysalud/41/cys_41_Nutricion_proteica_vacuno_lechero.pdf)

---



**MÁS ARTÍCULOS**