

DINÁMICA DEL METABOLISMO DE LOS HIDRATOS DE CARBONO Y DEL NITRÓGENO EN EL RUMEN

M. S. Stern, S. Calsamiglia y M. I. Endres. 1994. (University of Minnesota, EEUU) X Curso de Especialización FEDNA, Madrid.

www.produccion-animal.com.ar

Volver a: [Manejo del alimento](#)

1. INTRODUCCIÓN

El aporte de proteína bruta al duodeno consiste en la suma de la proteína microbiana sintetizada en el rumen, la proteína alimenticia no degradada en el rumen, y el nitrógeno endógeno. La proteína microbiana contribuye en una porción sustancial al total de la proteína bruta disponible en el intestino. Debido a que la composición en aminoácidos de la proteína bacteriana es bastante constante, la modificación del perfil de aminoácidos de la proteína disponible en el intestino delgado es difícil de conseguir. Para su modificación, es necesario que los suplementos proteicos de baja degradabilidad ruminal se incluyan en las raciones en cantidades considerables.

Los principales nutrientes necesarios para el crecimiento de los microorganismos ruminales son la proteína bruta y los hidratos de carbono, que pueden ser fermentados para proporcionar nitrógeno amoniacal, aminoácidos, esqueletos carbonados y energía en forma de ATP para la síntesis de proteína microbiana. En las estrategias de nutrición proteica de los rumiantes es importante optimizar la cantidad de proteína sintetizada por los microorganismos ruminales, ya que no sólo contribuyen mayoritariamente a la cantidad de proteína disponible en el intestino delgado, sino que su proteína tiene un perfil de aminoácidos de excelente calidad.

2. LA IMPORTANCIA DE LA PROTEÍNA MICROBIANA RUMINAL

La contribución teórica de la proteína microbiana al aporte total de proteína al intestino puede calcularse, a tres niveles de eficacia de síntesis de proteína bacteriana, utilizando las fórmulas desarrolladas por el NRC (1989). El cuadro 1 presenta estos cálculos considerando una vaca lechera de 600 kg produciendo 25, 35 ó 45 kg de leche corregida al 4% de grasa. A estos niveles de producción, la proteína microbiana contribuye en un 73, 64 y 59% del total de proteína necesaria para dicha producción cuando se considera que la eficacia de síntesis de proteína microbiana es de 30 g de N/kg de materia orgánica verdaderamente fermentada en el rumen (MOVf). Cuando el nivel de producción es de 45 kg/d de leche, la contribución de la proteína microbiana al total de las necesidades proteicas del animal aumenta del 39 al 79% si la eficacia de síntesis de proteína bacteriana aumenta de 20 a 40 g de N/kg de MOVf.

Cuadro 1. Contribución teórica (% del total) de la proteína microbiana a las necesidades proteicas totales del ganado vacuno lechero¹.

Eficacia de síntesis de proteína microbiana ²	Contribución teórica (%) cuando la producción de leche (kg/d) es de:		
	25	35	45
20	49	42	39
30	73	64	59
40	98	85	79

1) Necesidades calculadas utilizando las ecuaciones del NRC (1989).

2) g de N/kg de materia orgánica verdaderamente fermentada en el rumen, asumiendo una fermentabilidad verdadera de la materia orgánica en el rumen del 55%.

Stern y Hoover (1979) revisaron numerosos trabajos *in vivo* en los que se midió la eficacia de síntesis de proteína bacteriana. La eficacia media era de 30 g de N/kg MOVf, pero los valores variaron entre 10 y 50 g de N/kg MOVf. Esta variación indica que las especulaciones sobre la variación de la eficacia de síntesis de proteína microbiana utilizadas en el cuadro 1 son razonables, y que la manipulación de la eficacia de síntesis proteica de los microorganismos ruminales puede tener un impacto importante en las necesidades de proteína no degradable en el rumen del vacuno lechero. Además, estos datos demuestran que las necesidades de proteína de baja degradabilidad ruminal aumentan a medida que lo hace su nivel de producción.

3. EFECTOS DEL TIPO DE HIDRATOS DE CARBONO SOBRE EL METABOLISMO MICROBIANO RUMINAL

El metabolismo microbiano ruminal se regula fundamentalmente por la cantidad y la velocidad de fermentación de los hidratos de carbono, que a su vez depende de sus características físicas y químicas. La fermentación de los hidratos de carbono proporciona esqueletos carbonados y energía en forma de ATP para el crecimiento microbiano.

Los hidratos de carbono estructurales o fibrosos se definen genéricamente como aquellos que se encuentran en la pared de las células vegetales y que son selectivamente retenidos en una solución neutro detergente (FND). Los hidratos de carbono no fibrosos o no estructurales (HCNE) incluyen los almidones, los azúcares y las pectinas, y son típicamente fermentados con mayor facilidad en el rumen. Es necesario indicar que las pectinas, desde el punto de vista fisiológico, son hidratos de carbono estructurales. Sin embargo, no están unidos de forma covalente con la porción lignificada de la pared celular y son fermentados fácilmente en el rumen (entre el 90 y el 100%), por lo que se consideran, desde el punto de vista de su fermentabilidad ruminal, HCNE (Nocek y Tamminga, 1991).

3.1. HIDRATOS DE CARBONO NO ESTRUCTURALES

Los hidratos de carbono no estructurales de los alimentos se pueden calcular como: $HCNE = 100 - (\text{fibra neutro detergente} + \text{proteína bruta} + \text{cenizas} + \text{extracto etéreo})$; o bien pueden determinarse a través de métodos enzimáticos para los diversos hidratos de carbono que abarcan.

Hoover (1988) sugirió que la eficacia de síntesis de proteína microbiana se optimiza cuando el contenido en HCNE de las dietas está alrededor o por encima del 37%. Sin embargo, la suplementación de raciones con almidón a un nivel (Cameron et al., 1991) o a cinco niveles distintos entre el 8 y el 32% del concentrado (Robinson et al., 1987) no resultó en un aumento del aporte de proteína bacteriana al duodeno. Ello podría atribuirse a que el aumento en la cantidad de almidón de la ración no resultó en un incremento en la cantidad de energía fermentada, o bien a la desincronización entre la fermentabilidad de la energía y del nitrógeno para el crecimiento microbiano.

Feng et al. (1993) indicaron que el aumento de la cantidad de HCNE del 29 al 39% se tradujo en una disminución de la eficacia de síntesis y del aporte total de proteína microbiana. Además, los datos sugieren que ni el nitrógeno ni la energía limitaron el crecimiento bacteriano en ninguno de los tratamientos. La reducción del aporte de nitrógeno bacteriano y de la eficacia de síntesis de proteína bacteriana en las raciones formuladas con el 39% de HCNE se asoció a la disminución de la velocidad de tránsito del contenido ruminal, lo que pudo haber resultado en un incremento del reciclado de cuerpos bacterianos, aumentando el gasto de energía y de nitrógeno para mantenimiento en lugar de para crecimiento.

Estos experimentos demuestran que aumentar la concentración de HCNE en las raciones no implica necesariamente el aumento de la eficacia de síntesis de proteína bacteriana, ni el del aporte total de proteína bacteriana al intestino. Ello se debe probablemente a las diferencias extremas que existen entre los HCNE de los alimentos, como consecuencia de la diversidad y complejidad de los hidratos de carbono incluidos dentro del término HCNE, y a las grandes variaciones existentes entre alimentos de las proporciones de sacarosa, almidones y pectinas.

3.1.1. FUENTES DE ALMIDÓN

Herrera-Saldana et al. (1990b) determinaron *in vivo* e *in vitro* que la degradabilidad ruminal del almidón de diferentes cereales era, de mayor a menor: avena > trigo > cebada > maíz > sorgo.

Varios trabajos (Rode y Satter, 1988; McCarthy et al., 1989; Kung et al., 1992) compararon el valor del maíz y la cebada como fuentes energéticas para el crecimiento microbiano. La fermentabilidad ruminal del almidón de la cebada fue mayor que la del maíz, pero estas diferencias no resultaron en cambios en la eficacia de síntesis de proteína bacteriana en el rumen o en el aporte de proteína bacteriana al intestino. Grings et al., (1992) indicaron que la sustitución de grano de maíz y pulpa de remolacha por cebada no influyó en la ingestión de alimentos o en la producción y composición de la leche. Estos trabajos indican que la cebada puede utilizarse como fuente principal de energía para el vacuno lechero de alta producción sin afectar a los parámetros productivos.

Zinn (1993b) comparó los efectos que tenían en el crecimiento de terneros Holstein, dietas formuladas con maíz aplastado al vapor y avena aplastada en seco o al vapor. El aporte de nitrógeno no amoniacal fue mayor para las dietas que contenían avena, y la digestibilidad ruminal de la materia orgánica fue mayor para las dietas que contenían maíz. El crecimiento diario de los terneros y la eficiencia de crecimiento (alimento ingerido/aumento de peso) resultó inferior en las dietas formuladas con maíz que en aquellas formuladas con avena tratada.

La suplementación de una dieta basal de heno con maíz entero o molido, sorgo molido, o trigo molido no alteró la eficacia de síntesis de proteína microbiana en el rumen (Galloway et al., 1993). La degradabilidad ruminal de la proteína del trigo fue mayor que la del maíz, y la digestión ruminal del almidón menor para el sorgo molido, intermedia para el maíz molido o entero, y mayor para el trigo molido.

La fermentescibilidad ruminal del almidón puede modificarse a través del procesado físico o químico de los granos. Los diferentes métodos desarrollados con este objetivo fueron revisados por Nocek y Tamminga (1991). La cantidad de almidón digerida en el rumen y en el tracto digestivo es mayor en el sorgo aplastado con vapor que en el sorgo aplastado en seco (Oliveira et al., 1992; Oliveira et al., 1993). Poor et al. (1993) observaron que el aporte de nitrógeno no amoniacal y de nitrógeno bacteriano era mayor en las dietas formuladas con sorgo aplastado al vapor que en dietas con sorgo aplastado en seco, aunque el efecto sobre la eficacia de síntesis de proteína bacteriana fue mínimo. Moore et al. (1992) también observaron una reducción en la concentración de nitrógeno amoniacal en el rumen cuando el sorgo fue aplastado al vapor en vez de aplastado en seco, y este resultado se atribuyó al aumento en la utilización del nitrógeno amoniacal para la síntesis de proteína bacteriana, dado que la disponibilidad de energía era mayor con el sorgo aplastado al vapor.

Zinn (1993a) observó que la digestión ruminal de la materia orgánica y del almidón de la cebada aplastada en seco era menor que la cebada aplastada al vapor. En el mismo trabajo se compararon dos tamaños de aplastamiento al vapor, delgado o grueso. Cuando la cebada se aplastó delgada, el aporte de nitrógeno no amoniacal aumentó considerablemente, debido al aumento tanto de la fracción de nitrógeno alimenticio como a la del microbiano. Los resultados de estos trabajos indican que el método de procesado de los granos puede resultar en un aumento de la disponibilidad de energía para los microorganismos ruminales, y como consecuencia, en una mejora de la utilización de la proteína degradable en el rumen.

3.2. HIDRATOS DE CARBONO FIBROSOS

3.2.1. PULPA DE REMOLACHA

La pulpa seca de remolacha es un subproducto derivado de la producción de azúcar de remolacha. El contenido medio de proteína bruta y FND es del 10 y el 54% (en base a materia seca, MS), respectivamente. La pulpa de remolacha es una fuente energética muy digestible para el rumiante debido al tipo de hidratos de carbono asociados a su pared celular.

En particular, la pulpa de remolacha es muy rica en pectinas (entre el 20 y el 25% de la MS), que son fácilmente fermentadas en el rumen y proporcionan una excelente fuente de energía para la síntesis de proteína microbiana.

Hasta hace poco, la información disponible sobre la utilización de los hidratos de carbono de la pulpa de remolacha y el efecto de su incorporación en las raciones de rumiantes sobre la fermentación ruminal y aporte de nutrientes al duodeno, era limitada. Mansfield et al. (1994) indicaron que la sustitución del 50% del maíz por pulpa de remolacha en raciones de vacuno lechero se tradujo en una disminución del nitrógeno amoniacal y de la proporción molar de los ácidos grasos volátiles (AGV) ramificados, y un aumento del aporte total de proteína. La fuente de hidratos de carbono no afectó a la digestión de la materia orgánica, ni a la eficacia de síntesis de proteína bacteriana, ni al aporte total de proteína bacteriana. De Visser (1991) también observó una reducción en la concentración de nitrógeno amoniacal y de AGV ramificados cuando la pulpa de remolacha sustituyó el 50% del ensilado de maíz en raciones para vacuno lechero.

Por otra parte, Stern (datos no publicados) estudió los efectos de la sustitución de grano de maíz por pulpa de remolacha, como fuente de energía para el metabolismo de bacterias ruminales mantenidas en cultivo continuo *in vitro*. La producción de proteína bacteriana no se vio afectada por los tratamientos (1387 y 1458 mg N/d para el maíz y la pulpa de remolacha, respectivamente), lo que sugiere que la fermentescibilidad de la energía fue similar entre los dos alimentos estudiados. Estos resultados pueden explicarse en base al alto contenido en pectinas de la pulpa de remolacha, ya que esta fracción de hidratos de carbono es de fermentación fácil y rápida (Van Soest, 1986). Diversos autores (Huhtanen, 1987; Rooke et al., 1992) han demostrado que la sustitución de pulpa de remolacha por cebada en raciones formuladas para el ganado vacuno no afecta a los niveles de producción.

3.2.2. PULPA DE CÍTRICOS

La pulpa seca de cítricos es un subproducto industrial que puede usarse como alimento para rumiantes. Desde el punto de vista nutricional, se le considera un concentrado voluminoso con alto contenido energético, bajo en proteína bruta (7%) y fibra (23% FND), pero con cierto valor de sustitución como fibra efectiva. La inclusión de pulpa de cítricos en las raciones de rumiantes puede resultar en un aumento de la concentración de acetato y una disminución de la concentración de propionato, y como consecuencia un aumento en la relación acetato:propionato, que contrasta con otros concentrados energéticos como el gluten feed o la cebada (Durand et al., 1988; Ben-Ghedalia et al., 1989).

3.2.3. GLUTEN FEED

El gluten feed contiene un 45% de FND, considerada de digestibilidad alta, y niveles de proteína bruta elevados (26% de la MS). La mayor parte de los trabajos realizados hasta la fecha no han indicado efectos en la concentración total de AGV (Ohajuruka y Palmquist, 1989; Fellner y Belyea, 1991; Sarwar et al., 1991). Sin embar-

go, Firkins y col. (1985) indicaron que la sustitución del 35 o el 70% del forraje por gluten feed produjo una reducción lineal del pH y de la relación acetato:propionato. Fellner y Belyea (1991) formularon raciones para vacuno lechero a base de ensilado de maíz que contenían el 20, 40 o 60 % de la MS de gluten feed. El aumento lineal del nivel de inclusión de gluten feed en las raciones se tradujo en una reducción en la concentración ruminal de acetato, pero no afectó a las digestibilidades del nitrógeno, FND, fibra ácido detergente (FAD) o almidones. Fleck et al. (1988) compararon los efectos de la suplementación de dietas basadas en heno de hierba con harina de soja o gluten feed. La proporción molar de propionato y butirato fue mayor en las dietas suplementadas con gluten feed. Por el contrario, Staples et al. (1984) apuntaron un aumento lineal de la concentración ruminal de acetato y una disminución lineal de propionato cuando la concentración de gluten feed húmedo en la ración aumentó del 0 al 40% de la MS en raciones formuladas para vacuno lechero.

3.2.4. SEMILLA DE ALGODÓN

La semilla de algodón es un alimento único, ya que contiene altos niveles de energía, proteína y fibra. El contenido sobre MS es del 20% para la grasa, del 23% para la proteína bruta y del 44% para la FND. Horner et al. (1988a) estudiaron los efectos de la inclusión de semillas de algodón al 0 o al 15% de la MS en la fermentación ruminal de terneros canulados. Las dietas suplementadas con semillas de algodón produjeron una reducción del número de protozoos y de la proporción molar de propionato, mientras que el porcentaje molar de acetato aumentó. La reducción del número de protozoos en dietas suplementadas con semillas de algodón coincide con las observaciones de otros trabajos (Mohamed et al., 1988; Kajikawa et al., 1991). Horner et al. (1988b) realizaron estudios *in vitro* en los que la inclusión de semillas de algodón a diferentes concentraciones en la ración (0, 5, 15 o 30% de la MS) supuso un aumento del pH ruminal y de la concentración del nitrógeno amoniacal, pero disminuyó la cantidad de proteína sintetizada por los microorganismos ruminales. La concentración de acetato fue mayor en las dietas suplementadas con el 15 o el 30% de semillas de algodón, mientras que la concentración de propionato y AGV totales disminuía a medida que la cantidad de semilla de algodón en la ración aumentaba del 0 al 30%.

3.2.5. CASCARILLA DE SOJA

La cascarilla de soja es un subproducto de la industria del aceite y la harina de soja, y contiene aproximadamente el 12% de proteína bruta y el 67% de FND (en MS). Sin embargo, la digestibilidad de la FND en el rumen puede aproximarse al 95%, lo que la hace comparable al maíz en términos de contenido energético para la producción de leche (energía neta de lactación de 1,77 vs 1,96 Mcal/kg para la cascarilla de soja y el grano de maíz, respectivamente; NRC, 1989). La cascarilla de soja tiene una palatabilidad excelente para el vacuno y puede incluirse hasta el 20 o el 25% de la MS total de la ración (Harris, 1991). Anderson et al. (1988) compararon la cascarilla de soja y el grano de maíz a tres niveles (0, 25 y 50% de la MS de la ración) como fuentes de energía para terneros de carne en crecimiento. El pH ruminal de los terneros suplementados con 50% de maíz en la ración disminuyó rápidamente a 5,65 mientras que en los terneros suplementados con cascarilla de soja, la disminución del pH fue más gradual y solo bajó hasta 6,0. Mansfield y Stern (1994) no encontraron diferencias en la eficacia de síntesis de proteína microbiana o en el aporte de proteína microbiana al duodeno entre raciones suplementadas con maíz o cascarilla de soja ofrecidas a vacas lecheras al principio de la lactación. Estos datos indican que la energía proporcionada por la cascarilla de soja es altamente digestible y adecuada para hacer óptimo el crecimiento de las bacterias ruminales.

3.2.6. PAJA

El tratamiento de la paja con peróxido de hidrógeno (Bas et al., 1989) o amoníaco (Chen et al., 1992) llevó consigo un aumento considerable de la fermentescibilidad de los hidratos de carbono para aumentar la síntesis de proteína microbiana. Bas et al. (1989) indicaron que la cantidad de nitrógeno microbiano sintetizado en cultivo continuo *in vitro* era dos veces mayor en las dietas suplementadas con paja tratada con peróxido de hidrógeno que con paja sin tratar, y similar a la de dietas suplementadas con almidón de maíz. Basándose en estos datos, se concluyó que la paja tratada aportaba los mismos nutrientes necesarios para la síntesis de proteína microbiana que el almidón de maíz. Chen et al. (1992) indicaron que la paja de cebada tratada con amoníaco era similar al grano de cebada o a la pulpa de remolacha en términos de su capacidad de mantener la misma eficacia de síntesis de proteína microbiana. Sin embargo, el aporte total de proteína microbiana (g/d) al intestino fue inferior con la paja tratada.

3.2.7. HARINILLA DE TRIGO

La harinilla de trigo contiene un 18% de proteína bruta y un 37% de FND (sobre MS). Bernard et al., (1988) estudiaron la influencia de varias fuentes de fibra digestible en la fermentación ruminal y el metabolismo nitrogenado. La degradabilidad ruminal de la FND en las dietas suplementadas con harinilla de trigo fue similar a aque-

las suplementadas con gluten feed. Sin embargo, la combinación de ambas fuentes fibrosas supuso un aumento del 12% en su digestibilidad. Por otro lado, el aporte de proteína alimenticia al duodeno y la concentración de isoácidos disminuyó en aquellas dietas suplementadas con harinilla de trigo y gluten feed. Wagner et al., (1992) indicaron que el pH y la proporción acetato:propionato disminuye cuando la harinilla de trigo sustituye al 15% del ensilado de maíz (sobre MS) en dietas para el ganado vacuno.

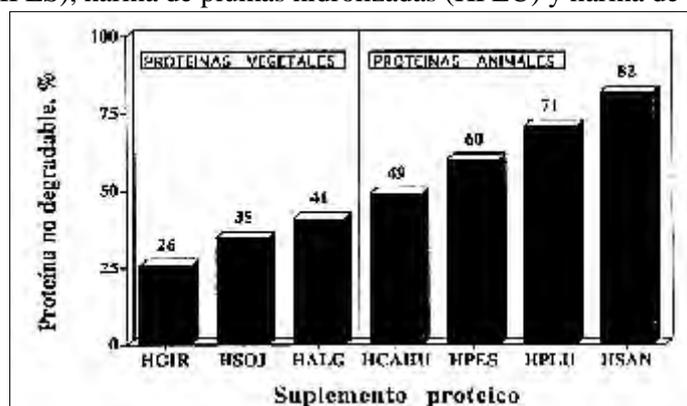
4. EFECTO DE LA FUENTE DE PROTEÍNAS EN EL METABOLISMO MICROBIANO RUMINAL

La degradabilidad ruminal de la proteína de los alimentos es un factor importante que afecta al aporte de aminoácidos al intestino delgado del vacuno lechero de alta producción. La velocidad y la cantidad total de proteína degradada en el rumen puede condicionar la cantidad de proteína bacteriana sintetizada en el rumen y determinar la cantidad total de proteína alimenticia no degradada que llega al duodeno. La cantidad de proteína degradada en el rumen depende en gran medida de la actividad proteolítica de las bacterias ruminales, el acceso de las bacterias a la proteína y el tiempo de retención de las partículas alimenticias en el rumen (NRC, 1985). Hoover y Stokes (1991) revisaron varios trabajos *in vivo* e *in vitro* que demuestran que existe una correlación fuerte entre el nivel de proteína degradable en la dieta y la eficacia de síntesis de proteína bacteriana. La eficacia máxima de síntesis de proteína bacteriana y el mayor aporte de proteína bacteriana al duodeno se alcanza en dietas que contienen entre el 10 y el 13 % de proteína degradable en la ración.

4.1. PROTEÍNAS DE ORIGEN VEGETAL

La harina de soja es un suplemento proteico de calidad relativamente alta que se utiliza frecuentemente en la alimentación del ganado vacuno lechero. Sin embargo, el contenido en proteína no degradada en el rumen es bajo si se compara con otros subproductos (figura 1).

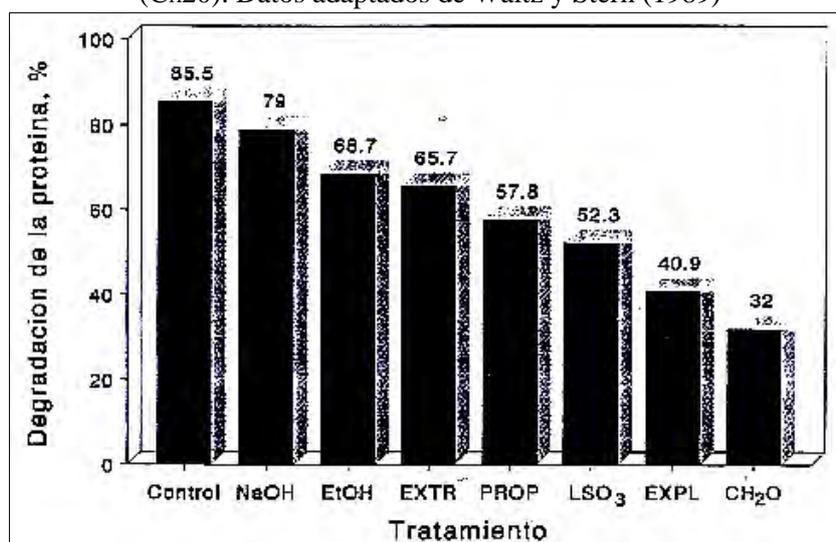
Figura 1. Proteína no degradable en el rumen (NRC, 1989) de la harina de girasol (HGIR), harina de soja (HSOJ), harina de algodón (HALG), harina de carne y huesos (HCAHU), harina de pescado (HPES), harina de plumas hidrolizadas (HPLU) y harina de sangre (HSAN)



Con el fin de aumentar el contenido en proteína no degradada en el rumen, se han desarrollado diversos métodos físicos y químicos que reducen la degradabilidad ruminal de la harina de soja y del haba de soja entera. El tratamiento por calor es el método que se ha usado con mayor frecuencia, e incluye procesos como el expeller, jet-sploding, extrusión tostado y el calentamiento en presencia de lignosulfonato cálcico o xilosa. El calor facilita la reacción Maillard entre los grupos aldehído de los hidratos de carbono y los grupos amino libres de las proteínas, para formar un complejo azúcar-proteína. El enlace químico que se establece es más resistente a la hidrólisis enzimática bacteriana, pero es reversible en las condiciones ácidas del abomaso. La reversibilidad del proceso depende de la temperatura y el tiempo de exposición. Otros tratamientos utilizados para reducir la degradabilidad ruminal de la fracción proteica de los alimentos incluyen la formación o adición de aldehídos, taninos, bentonato sódico, hidróxido sódico, sangre, hidrolizados de pescado o alcohol.

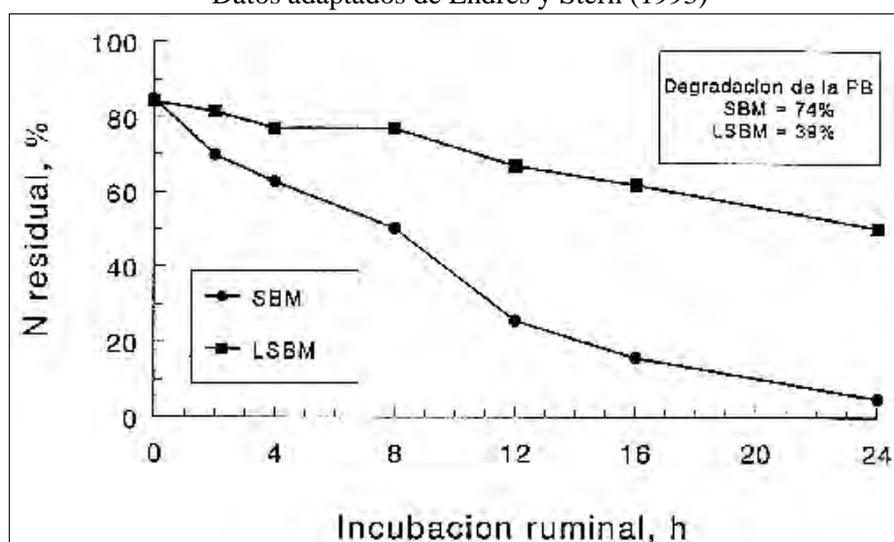
El efecto de estos tratamientos en la degradabilidad ruminal de la proteína de soja y en el metabolismo nitrogenado de los microorganismos ruminales se ha estudiado *in situ* y en cultivo continuo de contenido ruminal. Waltz y Stern (1989) estudiaron varios tratamientos de harinas de soja, que incluyeron una dieta control (extracción por solvente) y otras dietas con harina de soja tratada con hidróxido sódico, formaldehído, expeller, ácido propiónico, extrusión, etanol y lignosulfonato. Los resultados del estudio *in situ* (figura 2) demostraron que los tratamientos expeller, lignosulfonato y formaldehído fueron los más eficaces para proteger la proteína de soja de la degradación ruminal.

Figura 2. Degradabilidad ruminal de la proteína de la harina de soja (CTRL) y de la harina de soja tratada con hidróxido sódico (NaOH), con etanol (EtOH), extrusionada (EXTR), con ácido propiónico (PROP), con lignosulfonato cálcico (LSO₃), expeller (EXPL) y con formaldehído (CH₂O). Datos adaptados de Waltz y Stern (1989)



La degradabilidad ruminal de la proteína en cultivo continuo de contenido ruminal fue menor para las dietas suplementadas con soja tratada con formaldehído, ácido propiónico, lignosulfonato, extrusionada o expeller, respecto al control. Los tratamientos expeller, lignosulfonato y formaldehído produjeron una reducción de la síntesis de proteína bacteriana, debido probablemente a la limitación de nitrógeno amoniacal a nivel ruminal. Por el contrario, la cantidad de proteína alimenticia no degradada en los fermentadores fue mayor para la soja tratada con formaldehído, expeller, ácido propiónico y lignosulfonato. Los resultados de este trabajo deben interpretarse con precaución, ya que muchos de los procesos que se utilizaron para el experimento han sido modificados desde entonces y difieren de los que se utilizan en la actualidad de forma comercial. Por ejemplo, Endres y Stern (datos no publicados) señalan que la degradabilidad ruminal de la proteína de soja tratada con lignosulfonato en el producto comercial actual es del 39% (figura 3). La degradabilidad ruminal de la soja expeller se estimó recientemente en el 49% (Calsamiglia et al., 1992).

Figura 3. Nitrógeno residual de la harina de soja (HSOJ) y harina de soja tratada con lignosulfonato sódico (LSOJ) después de su incubación ruminal en bolsas de nylon (Dacron). Datos adaptados de Endres y Stern (1993)



Windschitl y Stern (1988) formularon cuatro raciones para vacuno lechero que contenían harina de soja o harina de soja calentada en presencia de agua, xilosa o lignosulfonato cálcico, y la degradación ruminal de la proteína que obtuvieron fue del 70,6, 69,6, 55,8 y 53,7%, respectivamente. El aporte de nitrógeno no amoniacal fue similar entre los tratamientos. Sin embargo, las raciones formuladas con harina de soja calentada en presencia de xilosa y lignosulfonato cálcico provocaron una reducción en el aporte de nitrógeno microbiano y un aumento en el aporte

de nitrógeno alimenticio, probablemente debido a la disminución del aporte de nitrógeno amoniacal a nivel ruminal.

Las dietas formuladas con habas de soja extrusionadas a 132 y 149°C llevaron consigo una disminución de la degradación ruminal de la proteína comparadas con aquellas formuladas con habas de soja cruda o harina de soja (Stern et al., 1985). El aporte total de aminoácidos al duodeno y la absorción intestinal fue inferior en las dietas que contenían habas de soja cruda. La extrusión de las habas de soja a 132 y 149°C aumentó el aporte de aminoácidos totales al intestino delgado en un 10%, y la absorción de aminoácidos en el intestino delgado en un 17% (en g/d) en comparación con las dietas suplementadas con habas de soja cruda; no obstante, las diferencias con la dieta suplementada con harina de soja no fueron significativas. Faldet y Satter (1991) indicaron que la suplementación de las raciones para vacuno lechero con habas de soja tostadas y acondicionadas se traduce en un aumento en la producción de leche (4,5 kg/d), de leche estandarizada al 3,5% de grasa (4,0 kg/d) y de la producción neta de proteína láctea (0,09 kg/d), en comparación con animales alimentados con harina o haba de soja entera cruda.

4.2. PROTEÍNAS DE ORIGEN ANIMAL

Los suplementos proteicos de origen animal, como las harinas de carne y huesos, de sangre, de plumas hidrolizadas o de pescado, son alimentos con alto contenido en proteína total y en proteína no degradable en el rumen si los comparamos con otros alimentos de origen vegetal (figura 1). La palatabilidad, la calidad proteica, la absorción intestinal de aminoácidos, el coste por unidad de proteína y la disponibilidad y regularidad del suministro y de la calidad del producto, así como el efecto en la producción animal son elementos clave para decidir qué suplemento de origen animal debemos utilizar en la formulación de raciones para rumiantes.

La formulación y administración de raciones suplementadas con harinas de carne y huesos a un sistema de fermentación continuo supuso una reducción en la degradación de la proteína alimenticia comparada con la harina de soja (Blake y Stern, 1988). Sin embargo, el aporte total de proteína del sistema *in vitro* fue similar en ambas dietas. Aunque la ingestión de proteína bruta total fue similar entre ambas raciones, la dieta con harina de carne y huesos contenía niveles inferiores de aminoácidos, probablemente debido al mayor contenido en nitrógeno no proteico en este suplemento. Ello se asocia al mayor contenido en ácidos nucleicos en la médula ósea. Además, el aporte de aminoácidos alimenticios fue mayor, y el aporte de aminoácidos de origen microbiano fue menor en la dieta suplementada con harina de carne y huesos en comparación con la harina de soja. La combinación de estos dos efectos resultó en un aporte total de aminoácidos similares entre ambos tratamientos. En contraposición, Mansfield et al., (1994) indicaron que la suplementación de raciones con una combinación de subproductos de origen animal (harinas de plumas hidrolizadas, de carne y huesos, y sangre) *in vitro* aumentó el aporte total de nitrógeno no amoniacal y nitrógeno de origen alimenticio.

Waltz et al., (1989) formularon raciones para vacuno lechero de alta producción que contenía harinas de soja, de sangre, de plumas hidrolizadas o una combinación de harinas de sangre y plumas. Las dietas que contenían harina de plumas hidrolizadas o una combinación de harinas de sangre y plumas hidrolizadas disminuyeron la degradación de la proteína de la ración y aumentaron el aporte total de aminoácidos al duodeno. La falta de aumento en el aporte de proteína al intestino delgado en la ración suplementada con harina de sangre se atribuyó a problemas de palatabilidad y selección de ingredientes por parte de las vacas, ya que los niveles de inclusión en la ración superaban los límites recomendados. Sin embargo, si la ingestión hubiese sido similar, es muy probable que el aporte de proteína y aminoácidos al duodeno hubiese sido mayor.

Cunningham et al. (1993) suplementaron raciones con una mezcla (relación 3:1 en MS) de harina de plumas hidrolizadas y sangre al 0, 33, 67 y 100% de la suplementación proteica. El aporte de nitrógeno no amoniacal y no microbiano aumentó, pero el aporte de nitrógeno microbiano mostró una tendencia a disminuir a medida que la contribución de harinas de plumas y sangre aumentó en la ración. Aunque el aporte de aminoácidos totales y esenciales al intestino no se vio afectado por los tratamientos, el perfil de aminoácidos cambió.

Hoover et al. (1989) estudiaron los efectos de diferentes métodos de procesado de harinas de pescado en el metabolismo microbiano en cultivo continuo. Las especificaciones de las distintas harinas de pescado eran: con el 34,4% de ácidos grasos libres; con el 34,4% de ácidos grasos libres y Ca₂Cl₂ añadido; con el 65,5% de ácidos grasos libres; y desengrasado. Cuando el pH se mantuvo en 6,2 la relación acetato:propionato, la producción total de proteína bacteriana, y la eficacia de síntesis de proteína microbiana disminuyó para todas las formas de harinas de pescado excepto en la desengrasada. Estos efectos se atribuyeron a la interacción de los aceites de pescado con el metabolismo microbiano, ya que no se observaron en las raciones formuladas con harina de pescado desengrasada. La degradabilidad microbiana de la proteína también fue mayor en las dietas que contenían harina de pescado desengrasada. Estas observaciones coinciden con Calsamiglia et al. (1992), quienes observaron una reducción en la relación acetato:propionato en cultivo continuo de dietas que contenían harina de pescado y harina de soja expeller en comparación con dietas formuladas con harina de soja. Sin embargo, no se observaron diferencias en la síntesis o eficacia de síntesis de proteína microbiana entre los tratamientos.

Otros trabajos *in vivo* también indican que la suplementación de raciones con harinas de pescado conlleva una reducción en el aporte de nitrógeno microbiano al duodeno del vacuno lechero (Rooke y Armstrong, 1987; Zerbini et al., 1988; Titgemeyer et al., 1989; Cunningham et al., 1993) y del ovino (Hussein et al., 1991). En oposición a estos resultados, Dawson et al. (1988) observaron un aumento en el aporte de proteína microbiana al duodeno cuando se añadieron harinas de pescado al ensilado para terneros en crecimiento. Sin embargo, Klusmeyer et al. (1991) observaron que la sustitución de harina de soja por harina de pescado en el vacuno lechero no modificó el aporte de nitrógeno microbiano al duodeno.

Zerbini et al. (1988) señalaron que, a pesar de la mayor ingestión de aminoácidos en las vacas suplementadas con harina de soja respecto a las suplementadas con harina de pescado, el aporte total de aminoácidos al duodeno fue similar entre los tratamientos. La partición del nitrógeno mostró que la menor degradabilidad ruminal de la proteína en la harina de pescado quedó contrarrestada con una disminución en la síntesis de proteína microbiana. También se observó una respuesta similar en ovino cuando las dietas se suplementaron con harinas de soja o pescado (Hussein et al., 1991). Rooke y Armstrong (1987) indicaron que la sustitución de harina de soja por harina de pescado supuso un aumento en la ingestión de aminoácidos y un cambio en el perfil de aminoácidos de la proteína en el duodeno.

Titgemeyer y col. (1989) estudiaron el efecto de la suplementación de raciones con harina de soja, gluten de maíz, harina de sangre o harina de pescado sobre el aporte de aminoácidos a terneros en crecimiento. La suplementación con harinas de pescado produjo la mayor disminución en la síntesis de proteína microbiana, seguido del gluten de maíz, la harina de sangre y la harina de soja, en comparación con la ración basal. La dieta formulada con harina de pescado aportó más aminoácidos totales al duodeno que la dieta de harina de soja, mientras que las dietas formuladas con harina de sangre y gluten de maíz resultaron en un mayor aporte de aminoácidos totales. Sin embargo, estas dos raciones presentaron perfiles de aminoácidos distintos. La harina de sangre aportó más lisina, histidina, arginina y valina, mientras que el gluten de maíz aportó más metionina, leucina e isoleucina. Estas observaciones coinciden con las de Cecava et al. (1991), quienes indicaron que la suplementación de raciones con una mezcla de harina de sangre y gluten de maíz aumenta un 13% el aporte de nitrógeno total al intestino, comparado con la harina de soja. Estos autores sugieren que la combinación de suplementos proteicos permite manipular el perfil de aminoácidos de la proteína aportada al intestino delgado de una forma más precisa que el uso de suplementos individuales.

Keery et al. (1993) estudiaron los efectos de la suplementación de raciones con harina de soja, harina de soja calentada, harina de pescado o una combinación de gluten de maíz y de harinas de soja calentada y pescado. Todas las dietas suplementadas con proteínas de baja degradabilidad ruminal resultaron en un aumento del aporte total de aminoácidos esenciales al duodeno y de la absorción intestinal de aminoácidos en comparación con la harina de soja. Christensen et al. (1993) utilizaron harinas de soja, de carne, de sangre, de pescado o de gluten de maíz con el fin de formular raciones que tuvieran el 30 o el 45% de la proteína alimenticia en forma no degradable en el rumen. El aporte de nitrógeno total, nitrógeno no amoniacal, y nitrógeno no amoniacal y no microbiano al duodeno fue mayor en las dietas con el 45% de proteína no degradable en el rumen. El aporte total de lisina y valina aumentó en las raciones de alto contenido en proteína no degradable, pero el aporte de metionina y otros aminoácidos esenciales no varió.

Calsamiglia et al. (1994) estudiaron los efectos de las raciones formuladas con urea y triptona, harinas de soja, de soja tratada con lignosulfonato, de gluten de maíz, de sangre, de plumas hidrolizadas, de carne y huesos, y de pescado en la fermentación microbiana en cultivo continuo y la digestión intestinal de la proteína *in vitro*. El nitrógeno no amoniacal aportado por los fermentadores fue mayor para las harinas de plumas, de sangre, de soja tratada con lignosulfonato, de pescado y de gluten de maíz. Las dietas formuladas con harina de sangre aportaron la mayor cantidad de aminoácidos esenciales y lisina, y las formuladas con harina de pescado aportaron la mayor cantidad de metionina. Las dietas formuladas con harina de carne y huesos y harina de plumas hidrolizadas condujeron a una reducción en la digestibilidad intestinal de la proteína aportada por los fermentadores.

El perfil de aminoácidos del contenido duodenal en vacas suplementadas con harinas de sangre, de algodón, o de gluten de maíz fue distinto al de las raciones suplementadas con harina de soja, y reflejaron el perfil de aminoácidos de los suplementos proteicos respectivos (King et al., 1990). Estos suplementos proteicos aportaron aproximadamente el 46% de la proteína total de las raciones, y los resultados demostraron que la calidad del perfil de aminoácidos de cada suplemento puede tener un impacto importante en el aporte de aminoácidos individuales al duodeno. Por ejemplo, Klusmeyer et al. (1990) indicaron que las vacas suplementadas con harina de soja recibían un aporte mayor de lisina y su producción lechera era mayor que la de vacas suplementadas con gluten de maíz. Estos autores concluyeron que la combinación de suplementos proteicos con perfiles de aminoácidos complementarios entre sí y con la proteína bacteriana permite manipular el perfil de aminoácidos del contenido duodenal para hacerlo óptimo para la producción lechera.

5. EFECTO DE LAS INTERACCIONES ENTRE PROTEÍNA E HIDRATOS DE CARBONO EN EL METABOLISMO MICROBIANO RUMINAL

Hoover y Stokes (1991) y Clark et al. (1992) describieron la relación existente entre la fermentescibilidad de los hidratos de carbono y la proteína, y el impacto de esta interacción en la síntesis de proteína microbiana y el aporte de proteína al duodeno. De estos trabajos de revisión bibliográfica se desprende que la información disponible es limitada en relación a los animales de alta producción, en los que estas interacciones deberían ser estudiadas rigurosamente.

Metwally (1989) estudió las interacciones entre el tipo de carbohidrato (pulpa de remolacha o grano de maíz) y el tipo de proteína (harina de soja o harina de carne y hueso). Las dietas formuladas con grano de maíz y harina de carne y huesos aumentaron la eficacia de síntesis de proteína bacteriana y el aporte total de nitrógeno no amoniacal al duodeno. En términos generales, los animales suplementados con pulpa de remolacha tuvieron una concentración de nitrógeno amoniacal en el rumen, una eficacia de síntesis de proteína bacteriana y un aporte de nitrógeno bacteriano al duodeno, inferior a los animales suplementados con maíz.

Herrera-Saldana et al. (1990a) estudiaron la influencia de la sincronización de la fermentescibilidad de la proteína y los hidratos de carbono utilizando cebada o mijo como fuente de energía, y bagazo de cerveza o harina de algodón como fuente de proteína. La fermentescibilidad de la proteína y el almidón fue mayor en las dietas formuladas con cebada con independencia de la fuente proteica considerada. Las dietas formuladas con la combinación de cebada y harina de algodón aumentaron la eficacia de síntesis de proteína bacteriana, así como el aporte de nitrógeno microbiano, lo que indica que la sincronización de las fuentes de proteína e hidratos de carbono para aumentar la velocidad de fermentación ruminal estimuló la producción de proteína microbiana. Además, la producción de leche aumentó en aquellos animales suplementados con cebada y harina de algodón, en comparación con aquellas raciones formuladas con fuentes menos fermentescibles de proteína e hidratos de carbono (mijo y bagazo de cerveza, respectivamente).

Un experimento similar fue diseñado por Aldrich et al. (1993), en el que las dietas fueron formuladas con dos niveles de fermentescibilidad de hidratos de carbono y proteína bruta. Las raciones formuladas para contener 36% de HCNE, de los cuales el 80% eran fermentescibles en el rumen, y 17,5% de proteína bruta, de la que el 66% era degradable en el rumen, condujeron al aporte máximo de nitrógeno microbiano al duodeno. La disminución de la cantidad de HCNE o de la proteína fermentescible en el rumen se tradujo en una reducción de la cantidad de proteína microbiana sintetizada en el rumen. Por otro lado, las dietas con proteína de baja degradabilidad ruminal aumentaron el aporte de aminoácidos esenciales al duodeno, pero la cantidad de arginina, isoleucina y metionina no aumentó. Las vacas usadas en este experimento consumieron aproximadamente 25 kg de MS al día y produjeron 39 kg de leche al día.

McCarthy et al. (1989) estudiaron el efecto de la fuente de proteína (harinas de pescado o soja) o de hidratos de carbono (maíz o cebada) en el metabolismo nitrogenado ruminal y el aporte de proteína al duodeno de vacas en lactación. En el experimento no se detectaron interacciones significativas entre la fuente de proteína y los hidratos de carbono. Las dietas formuladas con cebada aumentaron el aporte de nitrógeno microbiano y disminuyeron el aporte de nitrógeno de origen alimenticio. Las dietas suplementadas con maíz condujeron a elevar la ingestión de la MS y a disminuir la degradabilidad ruminal, por lo que el aporte de aminoácidos totales al duodeno fue mayor que en las dietas formuladas con cebada.

Stokes et al. (1991) diseñaron raciones para determinar las interacciones entre el nivel de HCNE (25, 31 o 39%) y el de proteína bruta digestible (9, 11,8 o 13,7%, en MS). Las raciones que contenían el 31 o 39% de HCNE, o el 11,8 o 13,7 de proteína bruta digestible resultaron en una síntesis de proteína microbiana mayor que aquellas que contenían el 25% HCNE o el 9% de proteína bruta degradable en el rumen. Los autores concluyeron que las raciones formuladas con un nivel de HCNE superior al 24% y un nivel de proteína degradable en el rumen por encima del 9% aumentan el aporte de proteína microbiana al duodeno.

Mansfield y Stern (1994) compararon dos fuentes de hidratos de carbono (maíz o cascarilla de soja) y dos fuentes de proteína (harina de soja o harina de soja tratada con lignosulfonato) como suplementos para el vacuno lechero. Las interacciones entre la fuente de proteína y la de hidratos de carbono respecto al metabolismo nitrogenado en el rumen y el aporte de proteína al duodeno no fueron significativas. La concentración ruminal de nitrógeno amoniacal fue menor en las dietas suplementadas con cascarilla de soja o con harina de soja tratada con lignosulfonato, respecto a aquellas suplementadas con maíz o harina de soja, respectivamente. Ni el tipo de hidratos de carbono ni el de proteína afectaron a la eficacia de síntesis de proteína microbiana o al aporte de nitrógeno microbiano al duodeno.

Los resultados del conjunto de estos trabajos demuestran la variabilidad en la respuesta a la sincronización de la fermentescibilidad del nitrógeno y de los hidratos de carbono en el rumen. Sin embargo, es necesario subrayar que estos estudios utilizaban fuentes de nitrógeno e hidratos de carbono distintas para sus comparaciones, lo que conduce a la posibilidad de confundir el efecto de la fermentescibilidad de los nutrientes con las características intrínsecas de un ingrediente en particular, como por ejemplo su velocidad de degradación. Henning et al. (1993)

realizaron una infusión ruminal de la misma cantidad de hidratos de carbono o proteína, pero con distinto perfil de infusión, bien en dosis puntuales cada 12 h o infusión constante. La infusión constante de hidratos de carbono aumentó la eficacia de síntesis de proteína microbiana, pero el nivel de sincronización entre energía y proteína no tuvo ningún efecto sobre la eficacia de síntesis o el aporte total de proteína microbiana. Estos resultados indican que la disponibilidad constante de energía es más importante para el crecimiento microbiano que la sincronización de la fermentabilidad de la energía y la proteína, siempre y cuando el nitrógeno no sea un factor limitante.

6. CONCLUSIONES

La valoración de los factores que afectan al metabolismo proteico ruminal indican que:

- 1) la formulación de raciones con niveles altos de HCNE no implica necesariamente un aumento en la producción de proteína microbiana, y que el nivel de HCNE necesario para optimizar la síntesis de proteína microbiana depende de la cantidad y tipo de proteína de la ración, de la velocidad de tránsito ruminal, del pH y posiblemente de otros factores.
- 2) para optimizar la producción animal, es necesario optimizar la síntesis de proteína microbiana, y manipular la cantidad y el perfil de aminoácidos de la proteína alimenticia no degradada en el rumen para complementar al de la proteína microbiana.

7. REFERENCIAS

- ALDRICH, J.M.; MULLER, L.D. y VARGA, G.A. (1993) *J. Dairy Sci.* 76, 1091.
- ANDERSON, S.J.; MERRILL, J.K.; MCDONNELL, M.L. y KLOPFENSTEIN, T.J. (1988) *J. Anim. Sci.* 66, 2965.
- BAS, F.J.; STERN, M.D. y FAHEY, JR., G.C. (1989) *J. Anim. Sci.* 67, 2081.
- BEN-GHEDALIA, D.; YOSEF, E.; MIRON, J. y EST, Y. (1989) *Anim. Feed Sci. Technol.* 24, 289.
- BLAKE, W.L. y STERN, M.D. (1988) *J. Anim. Sci.* 66, 2284.
- CALSAMIGLIA, S.; STERN, M.D., y CROOKER, B.A. (1992) *Anim. Feed Sci. Technol.* 39, 239.
- CALSAMIGLIA, S.; STERN, M.D. y FIRKINS, J.L. (1994) *J. Anim. Sci.* 72 Suppl. (1), 387.
- CAMERON, M.R.; KLUSMEYER, T.H.; LYNCH, G.L. y CLARK, J.H. (1991) *J. Dairy Sci.* 74, 1321.
- CECAVA, M.J.; MERCHEN, N.R.; BERGER, L.L.; MACKIE, R.I. y FAHEY, JR., G.C. (1991) *J. Anim. Sci.* 69, 2230.
- CHEN, X.B.; ABDULZARAK, S.A.; SHAD, W.J. y ORSKOV, E.R. (1992) *Anim. Prod.* 55, 413.
- CHRISTIENSEN, R.A.; LYNCH, G.L.; CLARK, J.H. y YU, Y. (1993) *J. Dairy Sci.* 76, 3490.
- CLARK, J.H.; KLUSMEYER, T.H. y CAMERON, M.R. (1992) *J. Dairy Sci.* 75, 2304.
- CUNNINGHAM, K.D.; CECAVA, M.J. y JOHNSON, J.R. (1993) *J. Dairy Sci.* 76 Suppl.(1), 248.
- DAWSON, J.M.; BRUCE, C.I. y BUTTERY, P.J. (1988) *Br. J. Nutr.* 60, 339.
- DURAND, M.; DUMAY, C.; BEAUMATIN, P. y MOREL, M.T. (1988) *Anim. Feed Sci. Technol.* 21, 197.
- FALDET, M.A. y SATTER, L.D. (1991) *J. Dairy Sci.* 74, 3047.
- FELLNER, V. y BELYEA, R.L. (1991) *J. Dairy Sci.* 74, 996.
- FENG, P.; HOOVER, W.H.; MILLER, T.K. y BLAUWIEKEL, R. (1993) *J. Dairy Sci.* 76, 1324.
- FIRKINS, J.L.; BERGER, L.L. y FAHEY, JR., G.C. (1985) *J. Anim. Sci.* 60, 847.
- FLECK, A.T.; LUSBY, K.S.; OWENS, F.N. y MCCOLLUM, F.T. (1988) *J. Anim. Sci.* 66, 750.
- GALLOWAY, JR. D.L.; GOETSCH, A.L.; FORSTER, JR., L.A.; BRAKE, A.C. y JOHNSON, Z.B. (1993) *J. Anim. Sci.* 71, 1288.
- GRINGS, E.E.; ROFFLER, R.E. y DEITELHOFF, D.P. (1992) *J. Dairy Sci.* 75, 193.
- HARRIS, B. (1991) En: *Proc. Alternative Feeds for Dairy & Beef Cattle*, pp 138 St. Louis, MO.
- HENNING, P.H.; STEYN, D.G. y MEISSNER, H.H. (1993) *J. Anim. Sci.* 71, 2516.
- HERRERA-SALDANA, R. y HUBER, J.T. (1989) *J. Dairy Sci.* 72, 1477.
- HERRERA-SALDANA, R.; GOMEZ-ALARCON, R.; TORABI, M. y HUBER, T.J. (1990a) *J. Dairy Sci.* 73, 142.
- HERRERA-SALDANA, R.; HUBER, J.T. y POORE, M.R. (1990b) *J. Dairy Sci.* 73, 2386.
- HOOVER, W.H. (1988) *Proc. Minn. Nutr. Conf.* 49, 1.
- HOOVER, W.H.; MILLER, T.K.; STOKES, S.R. y THAYNE, W.V. (1989) *J. Dairy Sci.* 72, 2991.
- HOOVER, W.H. y STOKES, S.R. (1991) *J. Dairy Sci.* 74, 3630.
- HORNER, J.L.; COPPOCK, C.E.; MOYA, J.R.; LABORE, J.M. y LANHAM, J.K. (1988a) *J. Dairy Sci.* 71, 1239.
- HORNER, J.L.; WINDLE, L.M.; COPPOCK, C.E.; LABORE, J.M.; LANHAM, J.K. y NAVE, D.H. (1988b) *J. Dairy Sci.* 71, 3334.
- HUHTANEN, P. (1987) *J. Agric. Sci. in Finland.* 59, 101.
- HUSSEIN, H.S.; JORDAN, R.M. y STERN, M.D. (1991) *J. Anim. Sci.* 69, 2134.
- KAJKAWA, H.; ODAI, M.; SAITOH, M. y ABE, A. (1991) *Anim. Feed Sci. Technol.* 34, 203.
- KEERY, C.M.; AMOS, H.E. y FROETSCHEL, M.A. (1993) *J. Dairy Sci.* 76, 514.
- KING, K.J.; HUBER, J.T., SADIK, M.; BERGEN, W.G., GRANT, A.L. y KING, V.L. (1990) *J. Dairy Sci.* 73, 3208.
- KLUSMEYER, T.H.; MCCARTHY, JR., R.D.; CLARK, J.H. y NELSON, D.R. (1990) *J. Dairy Sci.* 73, 3526.
- KLUSMEYER, T.H.; LYNCH, G.L.; CLARK, J.H. y NELSON, D.R. (1991) *J. Dairy Sci.* 74, 2220.
- KUNG, L., JR.; TUNG, R.S. y CARMEAN, B.R. (1992) *Anim. Feed Sci. Technol.* 39, 1.
- MANSFIELD, H.R.; STERN, M.D. y OTTERBY, D.E. (1994) *J. Dairy Sci.* 77, 205.
- MANSFIELD, H.R. y STERN, M.D. (1994) *J. Dairy Sci.* 77, 1070.

- MCCARTHY, R.D.; KLUSMEYER, T.H.; VICINI, J.L.; CLARK, J.H. y NELSON, D.R. (1989) *J. Dairy Sci.* 72, 2002.
- METWALLY, H.M. (1989) Ph.D. Thesis, University of Minnesota, St. Paul.
- MOHAMED, O.D.; SATTER, L.D.; GRUMMER, R.R. y EHLE, F.R. (1988) *J. Dairy Sci.* 71, 2677.
- MOORE, J.A.; POORE, M.H.; ECK, T.P.; SWINGLE, R.S.; HUBER, J.T. y ARANA, M.J. (1992) *J. Dairy Sci.* 75, 3465.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. (1985) *Ruminant Nitrogen Usage*. Washington, DC.
- NOCEK, J.E. y TAMMINGA, S. (1991) *J. Dairy Sci.* 74, 3598.
- OHAJURUKA, O.A. y PALMQUIST, D.L. (1989) *Anim. Feed Sci. Technol.* 24, 191.
- OLIVEIRA, J.S.; HUBER, J.T.; THEURER, C.B.; SULLIVAN, J.L. y PESSARAKLI, M. (1992) *J. Dairy Sci.* 75 Suppl.(1), 296.
- OLIVEIRA, J.S.; HUBER, J.T.; BEN-GHEDALIA, D.; SWINGLE, R.S.; THEURER, C.B. y PESSARAKLI, M. (1993) *J. Dairy Sci.* 76, 575.
- POORE, M.H.; MOORE, J.A.; ECK, T.P.; SWINGLE, R.S. y THEURER, C.B. (1993) *J. Dairy Sci.* 76, 2244.
- ROBINSON, P.H.; TAMMINGA, S. y VAN VUUREN, A.M. (1987) *Livest. Prod. Sci.* 17, 37.
- RODE, L.M. y SATTER, L.D. (1988) *Can. J. Anim. Sci.* 68, 445.
- ROOKE, J.A. y ARMSTRONG, D.G. (1987) *J. Agric. Sci. (Camb.)* 109, 261.
- ROOKE, J.A.; RYMER, C.; MAYA, F.M. y ARMSTRONG, D.G. (1992) *J. Sci. Food Agric.* 58, 475.
- SARWAR, M.; FIRKINS, J.L. y EASTRIDGE, M.L. (1991) *J. Dairy Sci.* 74, 1006.
- STAPLES, C.R.; DAVIS, C.L.; MCCOY, G.C. y CLARK, J.H. (1984) *J. Dairy Sci.* 67, 1214.
- STERN, M.D. y HOOVER, W.H. (1979) *J. Anim. Sci.* 49, 1590.
- STERN, M.D.; SANTOS, K.A. y SATTER, L.D. (1985) *J. Dairy Sci.* 68, 45.
- STOKES, S.R., HOOVER, W.H.; MILLER, T.K. y BLAUWIEKEL, R. (1991) *J. Dairy Sci.* 74, 871.
- TITGEMEYER, E.C.; MERCHEN, N.R. y BERGER, L.L. (1989) *J. Anim. Sci.* 67, 262.
- VAN SOEST, P.J. (1986) En: *Proc. Cornell Nutr. Conf. Feed Manuf.*, pp 73, Syracuse, NY. Cornell Univ., Ithaca, NY.
- VISSER, H. DE; HUISERT, H. y KETEELAR, R.S. (1991) *Neth. J. Agric. Sci.* 39, 21.
- WAGNER, K.M.; FIRKINS, J.L. y EASTRIDGE, M.L. (1992) *J. Dairy Sci.* 75 Suppl.(1), 234.
- WALTZ, D.M. y STERN, M.D. (1989) *Anim. Feed Sci. Technol.* 25, 111.
- WALTZ, D.M.; STERN, M.D. y ILLG, D.J. (1989) *J. Dairy Sci.* 72, 1509.
- WINDSCHITL, P.M. y STERN, M.D. (1988) *J. Dairy Sci.* 71, 3310.
- ZERBINI, E.; POLAN, C.E. y HERBEIN, J.H. (1988) *J. Dairy Sci.* 71, 1248.
- ZINN, R.A. (1993a) *J. Anim. Sci.* 71, 3.
- ZINN, R.A. (1993b) *J. Anim. Sci.* 71, 2303.

Volver a: [Manejo del alimento](#)