

Utilización de cereales

▼ C. DE BLAS¹, P. GARCIA REBOLLAR¹, J. MÉNDEZ². (*)

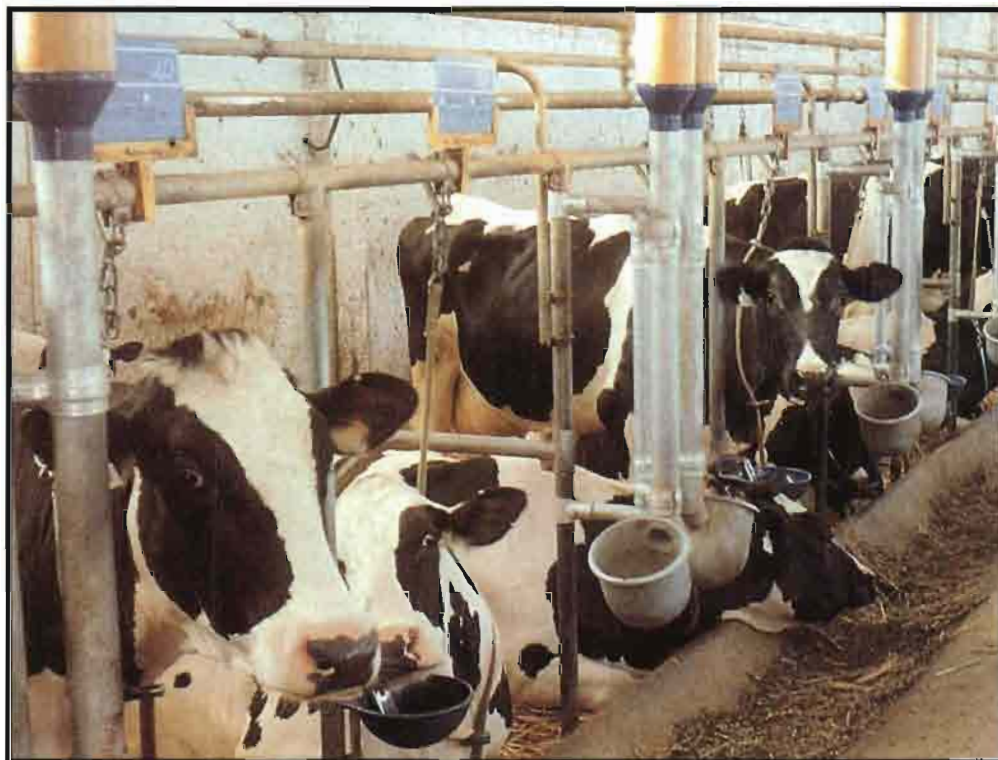
Los granos de cereales, por su alto valor energético y alta palatabilidad, son materias primas de elección para cubrir las elevadas necesidades energéticas de vacas de producción de leche.

Con respecto a otros concentrados energéticos ricos en fibra soluble (pulpas de remolacha y de cítricos, cascarrilla de soja), los granos de cereales se caracterizan por su elevado contenido en almidón y su baja proporción de paredes celulares. Otros ingredientes habituales de las dietas de vacas de leche (germen y gluten de maíz, guisantes), aportan cantidades significativas tanto de almidón como de fibra digestible. Algunas de las recomendaciones prácticas actuales sugieren la necesidad de un equilibrio en la presencia de alimentos de los tres grupos, pero las necesidades mínimas de cereales, o de almidón, en la dieta no están claramente cuantificadas.

Debido a su elevada concentración en almidón (70-80%), los granos de cereales presentan características digestivas que deben tenerse en cuenta en la formulación práctica de raciones. Por otro lado, la digestión ruminal del almidón varía de forma considerable de unos granos de cereales a otros, y puede modificarse también por el procesado del grano. Como consecuencia, este grupo de alimentos no puede considerarse enteramente homogéneo desde el punto de vista de la nutrición de rumiantes.

Digestión del almidón

El almidón es hidrolizado a glucosa en el rumen por la acción de amilasas y otras carbohidrasas extracelulares o asociadas a la superficie de las bacterias. Un gran número de bacterias ruminales son capaces de digerir almidón y azúcares, siendo las más importantes: *Bacteroides amylophilus*, *Streptococcus bovis*, *Succinomonas amylolytica*, *Selenomonas ruminantium* y diferentes especies de lactobacilos (van Houtert, 1993). Los protozoos también juegan un papel importante en el catabolismo de los



Las necesidades mínimas de cereales en la dieta no están cuantificadas claramente.

hidratos de carbono de reserva, ya que fagocitan los gránulos de almidón y los digieren intracelularmente, por lo que reducen su disponibilidad para otras especies microbianas. Por último, los hongos parecen disponer de una escasa actividad amilolítica.

Los microorganismos amilolíticos dan lugar a una proporción más elevada de ácido propiónico (35-45 mol/100 mol AGV) en el rumen que los que fermentan celulosa o hemicelulosas (15-25 mol/100 mol AGV). La formación de propiónico, a partir de piruvato, puede realizarse a través de dos vías metabólicas: vía succinato o vía lactato. La primera de ellas es la más importante en condiciones normales de alimentación, mientras que la segunda, un 50% menos eficaz desde un punto de vista energético, sólo es predominante cuando los animales consumen dietas con altos niveles de concentrados. En estas condiciones, el ácido láctico se acumula en el rumen como consecuencia de un desequilibrio entre las bacterias que producen y las que utilizan el ácido láctico (por ej., *S. ruminantium* o *Megasphaera elsdenii*, menos tolerantes a la acidez ruminal). La acumulación de lactato hace que disminuya el pH del rumen (Kaufman et

al., 1979) y favorece el crecimiento de las bacterias ácido tolerantes, como *Streptococcus bovis* y lactobacilos.

La acidosis del contenido ruminal (pH < 6) implica efectos significativos sobre la digestión que incluyen: i) reducción de la extensión y velocidad de digestión de la fibra, ii) descenso del consumo de materia seca y iii) disminución de la relación (acético+butírico)/propiónico.

Efecto del tipo de cereal

La digestión del almidón de los granos de cereales en la mayoría de las raciones de rumiantes es prácticamente completa. Existen no obstante diferencias según el tipo de cereal, en cuanto a la proporción de almidón soluble (hidrolizado muy rápidamente), la fermentada en el rumen, y la digerida en tramos posteriores del aparato digestivo.

El almidón del trigo y la cebada (al igual que el de la mandioca, el salvado o el gluten feed) (Sauvant et al., 1994; Michaellet-Doreau y Sauvant, 1989; Smet et al., 1995) se caracterizan por una fermentación más rápida y completa en el rumen que el de los granos de maíz o sorgo. Como consecuencia, los primeros

(*) Trabajo presentado en el XI Curso de Especialización FEDNA «Avances en Nutrición y Alimentación Animal». Expoaviga '95.

¹ Departamento de Producción Animal, U.P. Madrid
² COREN, S.C.L.

proporcionan más energía disponible para los microorganismos del rumen, favoreciendo la síntesis de proteína microbiana, pero también son más susceptibles de ocasionar problemas de acidosis en raciones concentradas (Cullent et al., 1986). Dietas intermedias dan lugar a una velocidad de digestión intermedia (Smet et al., 1995).

Aunque la estructura del gránulo de almidón y la proporción amilosa/amilopectina difieren entre el maíz y la cebada, la digestión de los almidones puros de ambos granos es muy similar (**fig. 1**).

El factor de mayor importancia que parece explicar las diferencias de digestión entre los diferentes granos de cereales es la matriz proteica que envuelve los gránulos de almidón. La velocidad de degradación ruminal de la proteína de la matriz determina la velocidad de hidrólisis del almidón, ya que la superficie de almidón en contacto con las amilasas aumenta a medida que aquélla es degradada.

La naturaleza vítrea del sorgo y el maíz está relacionada con su contenido en proteína y la continuidad de la matriz proteica. Así, el maíz y el sorgo tienen una menor proporción de proteínas solubles (albúminas y globulinas) y una mayor proporción de proteínas de reserva (prolaminas y glutelinas), y estas últimas se caracterizan por una menor solubilidad y una velocidad de hidrólisis más lenta. En consecuencia, la degradabilidad media de las proteínas del trigo o de la cebada es superior a la del maíz o la del sorgo (70-80 vs 40-45%).

Por otra parte, las células del endospermo harinoso (que representan un 50% del



La molienda de los granos de cereales facilitan la degradación del almidón en el rumen.

total en los granos de maíz y sorgo y hasta un 80% en el trigo) se caracterizan por poseer gránulos de almidón más grandes rodeados por una matriz proteica discontinua, mientras que en el endospermo córneo los gránulos de almidón son más pequeños y la matriz es aproximadamente continua.

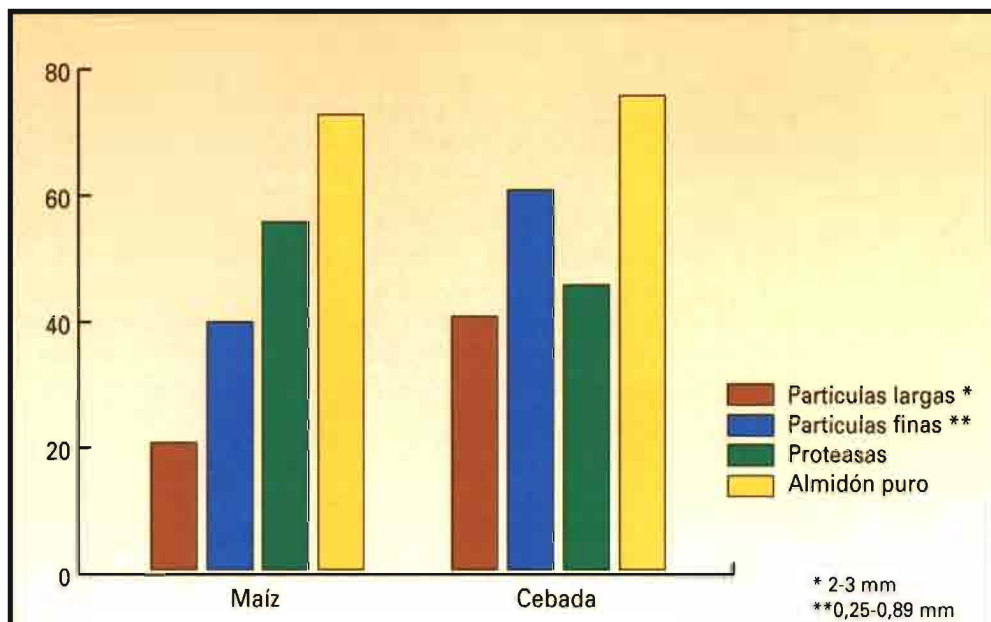


Fig. 1. Efecto del tamaño de partícula y del uso de proteasas sobre la ingestión del almidón de maíz y cebada tras 16h de incubación (%) (McAllister et al., 1993).

Las bacterias tienden inicialmente a colonizar las regiones situadas entre gránulos de almidón aprovechando los puntos de ruptura de la matriz proteica. Consecuentemente el ataque microbiano se ve favorecido cuanto mayor es la proporción de endospermo harinoso en el grano de cereal. Por tanto, la menor degradabilidad del maíz y el sorgo en comparación con otros granos de cereales es en gran parte debida a la resistencia del germen y del endospermo córneo a la colonización bacteriana y a su posterior digestión (McAllister et al., 1990).

En la **fig. 1** puede observarse cómo el tratamiento con proteasas, al digerir la matriz proteica y facilitar la colonización microbiana del endospermo córneo, incrementa notablemente la degradabilidad del almidón del maíz.

Efecto del procesado

La molienda de los granos de cereales, al romper las células del endospermo, facilita la colonización y digestión microbiana y, por tanto, la degradación del almidón en el rumen (**fig. 1**). No obstante, los gránulos de almidón permanecen embebidos en la matriz proteica, por lo que la digestión efectiva del almidón de los granos finamente molidos es inferior a su degradabilidad potencial. La magnitud de las mejoras es inversamente proporcional a la digestibilidad del almidón en los granos no procesados, por lo que la influencia del tratamiento es muy superior en los granos de maíz y sorgo que en los de trigo o cebada.

El tratamiento de los granos por vapor y presión tiene como efectos adicionales la gelatinización del almidón y la separación de los gránulos de almidón de la matriz proteica. La gelatinización se produce a partir de la ruptura de puentes de hidrógeno que forman parte de la estructura de los gránulos de almidón. Para ello se requiere una cantidad de energía en forma de calor, tanto mayor cuanto menor sea la humedad del material que se pretende gelatinizar: 100-120 °C para 20% de humedad y 115-130°C para un 10% (Champ y Colonna, 1993). Durante la gelatinización los gránulos de almidón absorben agua, se hinchan, exudan parte de la amilosa, se hacen más susceptibles a la digestión microbiana y pierden birrefringencia. La digestión del almidón en el rumen de cualquier tipo de granos procesados por este procedimiento es, por tanto, prácticamente completa (Theurer, 1986; Nocek y Tamminga, 1991).

La eficacia del proceso depende de una interacción adecuada entre calor,

humedad y acción mecánica (Rooney y Plufgelder, 1986). Así, un aporte insuficiente de agua produce una gelatinización incompleta aunque la temperatura sea elevada, y puede también estar asociada a la formación de almidón retrogradado (menos digestible). La densidad de los copos puede utilizarse como un índice sencillo, rápido y fiable de la efectividad del proceso (a menor densidad, mayor grado de gelatinización), aunque los valores óptimos podrían diferir entre distintos granos (Rooney y Plufgelder, 1986).

La granulación y el micronizado tienen un efecto intermedio sobre la digestión del almidón, ya que implican una gelatinización parcial (10-30%) cuya extensión dependerá de la temperatura y de la utilización o no de vapor en el proceso.

Digestión post-ruminal del almidón

El almidón que no es digerido en el rumen por los microorganismos llega al intestino delgado, donde puede hidrolizarse a glucosa por las amilasas pancreáticas, y posteriormente al ciego e intestino grueso donde puede ser fermentado por la flora microbiana allí residente.

Tal como se muestra en el **cuadro I**, la digestibilidad intestinal del almidón es inversamente proporcional a la digestibilidad

**Deben evitarse
descensos
bruscos del pH
ruminal,
asociados a
niveles elevados
de cereales
fermentables**

ruminal, de modo que la digestibilidad total (fecal) del almidón de los cereales es generalmente superior al 90%. No obstante, puede también apreciarse que en el caso del almidón de los granos céreos (maíz y sorgo), el procesado tiende a incrementar su digestibilidad total.

De acuerdo con la revisión de Theurer (1986), ésta aumentaría en ganado vacuno desde un 90% como media para los granos enteros, hasta un 93% en los granos molidos o aplastados, y un 98,5% en los procesados por vapor. Los principales límites a la digestión intestinal del almidón parecen ser más el tiempo de digestión y la estructura de las partículas que la capacidad amilásica (Owens et al., 1986).

La digestión del almidón en el intestino delgado por vía enzimática en lugar de por vía fermentativa tiene ventajas desde un punto de vista de eficacia energética, ya que disminuyen la formación de metano y el calor de fermentación. Por otra parte, se producen cambios en los productos finales de la digestión (% glucosa/AGV) que, como se verá más adelante, afectan significativamente al metabolismo del animal y a la composición de sus producciones.

Efecto del tipo de grano sobre los rendimientos productivos

Las recomendaciones tradicionales de

niveles óptimos de forraje/concentrado se han modificado recientemente hacia niveles óptimos de FND o su complemento CNE (carbohidratos no estructurales=MO-PB-EE-FND) en el conjunto de la ración. Ello se debe a la utilización cada vez mayor por un lado de dietas completas (sistema unifeed) y por otro de alimentos ricos en fibra digestible (pulpas de remolacha y cítricos, cebadilla, cascarilla de soja) de difícil catalogación como concentrados o forrajes. De este modo, el sistema NRC (1989) establece unas necesidades mínimas de FND, una parte de las cuales debe suministrarse como fibra larga, y un mínimo de concentración energética (ENI), fuera de lo cual puede formularse libremente.

Algunos autores plantean, sin embargo, la necesidad de restricciones adicionales, como la inclusión de un mínimo de almidón fácilmente fermentable para maximizar la síntesis de proteína microbiana y de un máximo para prevenir problemas de acidosis. Además, la proteína de la dieta debería formularse no sólo en función de su degradabilidad total, sino también de la proporción de proteína soluble, rápidamente disponible para los microorganismos.

En algunos trabajos recientes (Beauchemin et al., 1994; Batajoo y Shaver, 1994; Coomer et al., 1993; Garnsworthy et al., 1993) se han empleado diferentes niveles de cereales de distinta degradabilidad ruminal. Todas las dietas experimentales cubrían las necesidades mínimas de FND (28%/MS) y de fibra larga del NRC (1989). En el trabajo de Batajoo y Shaver (1994) el grano de cereal utilizado fue maíz molido. Su proporción en la dieta osciló entre un 13 y 36% (18-33% de almidón/MS) siendo sustituido por cebadilla y cascarilla de soja. Estos cambios no afectaron, pese a su magnitud, ni a la producción ni a la composición de la leche, ni tampoco al pH ruminal, a la variación de peso, o a la eficacia de conversión del pienso.

Dentro de que todos los efectos observados fueron bastante moderados, los de mayor importancia correspondieron a los trabajos en los que se empleó cebada a niveles comprendidos entre un 14 y 55% (7,3-28,4% de almidón/MS; Beauchemin et al., 1994) o entre un 22 y 64% (16-34% almidón/MS; Garnsworthy y Jones, 1993). En estos casos, un incremento de la proporción de cereal en la dieta supuso un aumento significativo de la concentración en proteína y un descenso en la de grasa, y, en el primero de ellos, también un aumento de la producción total de leche. Paralelamente se observó una dismi-

CUADRO I. EFECTO DEL TIPO DE CEREAL Y DEL PROCESADO SOBRE LA DIGESTIBILIDAD TOTAL Y EL LUGAR DE DIGESTION DEL ALMIDON

Tipo de cereal	Digestión vacuno %			Referencia
	Rumen	I. Delgado	Total	
Cebada aplastada	77,3	18,9	96,2	McCarthy et al., 1989
Maíz molido	49,1	43,6	92,7	
Sorgo molido	47,6	35,3	82,9	Poore et al., 1993
Sorgo copos	73,7	24,0	97,7	

CUADRO II. EFECTO DEL SISTEMA DE ALIMENTACION SOBRE PARAMETROS PRODUCTIVOS EN DIETAS CON ALTA PROPORCION DE ALMIDON (según Mitzner et al., 1994)

Parámetro	Forma de suministro forraje/concentrado	
	Conjunta	Separada
Consumo MS (kg/d)	22,8	21,9
Prod. Leche (kg/d)	28,6	28,9
Grasa (%)	3,93	3,65
Proteína (%)	3,30	3,27

nución del pH ruminal (desde 6,3 hasta 5,75) y una mayor ganancia de peso (desde -0,10 hasta +1,06 kg/d; Beauchemin et al., 1994). No se encontraron en cambio diferencias significativas en la eficacia de conversión entre las diferentes dietas.

Finalmente, en el trabajo de Coomer et al. (1993), donde se compararon niveles de inclusión comprendidos entre 14 y 34% de una mezcla de trigo y maíz molido, aproximadamente a partes iguales, los efectos observados fueron intermedios.

De este modo, se observa la existencia de una interacción entre nivel y tipo de cereal, ya que, cumpliendo los límites de formulación propuestos por el NRC, sólo la utilización de elevadas proporciones de cereales altamente fermentables parecen alterar significativamente los parámetros fermentativos y productivos estudiados.

Conclusiones similares pueden deducirse de los trabajos presentados por Poore et al., 1993 y Chen et al., 1994, donde se midió el efecto del procesado por vapor de granos inicialmente poco fermentables (maíz y sorgo). Las dietas se suministraron con unifeed y contenían 29-31% FND/MS, fibra larga (heno de alfalfa picado) y un 35-40% de grano de cereal.

Los resultados obtenidos muestran también una tendencia hacia una mayor producción de leche, menor proporción de grasa y mayor de proteína en las dietas que incluían el cereal procesado. El efecto sobre la concentración de grasa fue menor en el trabajo de Chen et al. (1994) que en el de Poore et al. (1993), probablemente

porque en el primero se añadió un buffer (1% CO_3HNa + 0,4% OMg) a la ración. El procesado supuso también un aumento de la digestibilidad total del almidón (entre un 5 y un 25%), y de la ganancia de peso (desde +0,23 hasta +0,47 kg/d como media). La eficacia de conversión del pienso no resultó afectada de forma significativa.

Efecto de la interacción tipo de cereal \times tipo de forraje

Algunos forrajes usados habitualmente en la alimentación de vacas de leche aportan a la dieta niveles significativos de almidón. Así, el silo de maíz contiene entre un 15 y un 35% de almidón sobre MS, dependiendo de la variedad utilizada y aumentando con la concentración de MS en el momento de la cosecha (entre un 20 y un 33%). La degradabilidad ruminal de este almidón tiende a disminuir (desde un 95 hasta un 60%) con el estado vegetativo (**fig. 2**).

Dietas con una alta proporción de silo de maíz tienden pues a aumentar los problemas de acidosis cuando se combinan con altas proporciones de granos de cereales fácilmente fermentables, especialmente si el silo se ha cosechado en estado vegetativo precoz.

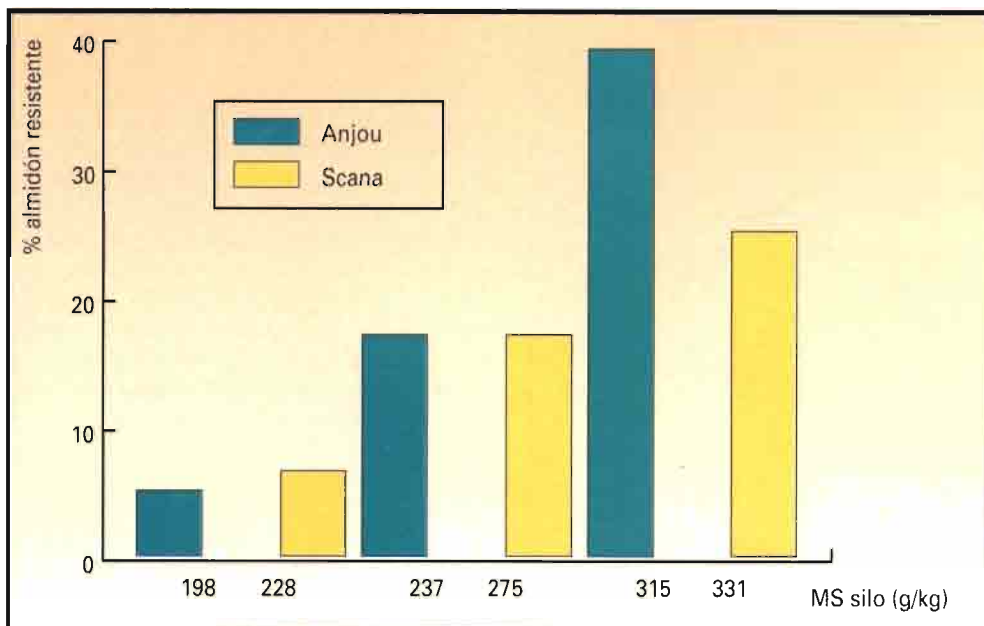


Fig. 2. Efecto del tipo de silo de maíz sobre la proporción de almidón resistente a la degradación ruminal (De Visser, 1993).

Hay que controlar la digestibilidad de los granos, vigilando su aparición intactos en las heces

Kung et al. (1992) compara en un trabajo la fermentación ruminal en vacas que recibían dos tipos de forrajes (heno de alfalfa largo o silo de maíz con un 36% de almidón) y dos tipos de concentrado (basados en cebada o maíz molido) en dietas 50:50. Los resultados de la evolución del pH del rumen después de la comida muestran que cuando las vacas recibían heno de alfalfa, la caída del pH no dependía del tipo de grano utilizado, pero que cuando consumían silo de maíz, se producía un descenso acusado en la dieta más fermentescible (cebada).

Esta interacción es debida, en parte, al mayor contenido en almidón en las dietas con silo de maíz, pero también al mayor poder buffer de la fibra del heno de alfalfa. La capacidad buffer de la fibra depende de su capacidad de intercambio catiónico que, a su vez, está relacionada con la presencia de grupos intercambiadores de iones, principalmente el grupo carboxilo (COO^-) del ácido galacturónico de las pectinas, hidroxilo (OH^-) de los compuestos fenólicos de la lignina y amino (NH_2^-) de los aminoácidos ligados a la pared celular (Van Soest et al., 1991).

La fibra de la pulpa de remolacha (por su alta proporción de pectinas) o la de los henos de leguminosas (por su contenido en pectinas, lignina y aminoácidos) tienen por tanto una mayor capacidad buffer que la fibra de gramíneas (silo de maíz, ray grass, paja), más concentrada en celulosa y hemicelulosas (Van Soest et al., 1991). En consecuencia, la suplementación de estos últimos forrajes con concentrados ricos en almidón hacen al rumen más susceptible de sufrir problemas de acidosis.

Efecto de la interacción tipo de cereal \times sistema de alimentación

El suministro conjunto de forrajes y concentrados reduce el efecto negativo de dietas concentradas en almidón, al forzar a los animales a una ingestión continua y simultánea de alimentos de degradación rápida y lenta. En este sentido, en el **cuadro II** se presenta el efecto del suministro conjunto o separado de forraje y concentrado sobre parámetros productivos de vacas que recibían dietas con un 45% de maíz molido. Como puede apreciarse, y

INFORME

pese a que la dieta no era altamente degradable, la utilización del sistema unifeed supuso un aumento significativo ($P < 0,01$) del contenido en grasa en la leche, al favorecer el mantenimiento del equilibrio de la fermentación ruminal.

En el **cuadro III** se presentan las respuestas que cabe esperar a un incremento del número de comidas según el grado de fermentabilidad de la dieta y el tipo de manejo.

Se recomienda diferenciar y utilizar materias primas variadas para suplementar los forrajes

velocidad de digestión, puede afectar significativamente al resultado de la digestión ruminal.

Varios trabajos (Sloan et al., 1988; Gansworthy, 1989; Casper et al., 1990; Khorosani et al., 1994) han estudiado el efecto de la interacción entre la velocidad de fermentación de la fracción hidrocarbonada (HCR = cebada, HCL = maíz molido o pulpa de remolacha) y la degradabilidad de la proteína (PD = 70%, PI = 60%) sobre la producción y composición de la leche

de vacas de alto potencial productivo (alrededor de 30 kg/d). Las dietas eran isoenergéticas e isonitrogenadas, y cubrían todas las necesidades del ARC (1980) y del NRC (1989), excepto las de mínimos de proteína indegradable.

La combinación de hidratos de carbono de fermentación rápida (HCR) con un nivel alto de proteína degradable (PD) re-

sulta equilibrada para la síntesis de proteína microbiana, que, de hecho, alcanza valores máximos con este tipo de dietas (Herrera-Saldaña et al., 1990; Aldrich et al., 1993). Sin embargo, esta combinación tiende también a dar los valores más bajos de consumo (5% menos respecto a las dietas HCL), y de producción de leche, probablemente como consecuencia del mayor grado de actividad fermentativa en el rumen.

La utilización de proteína más indegradable en dietas fácilmente fermentables (HCR-PI) supone, con respecto al caso anterior, una menor tasa de síntesis microbiana (al haber una menor cantidad de nitrógeno disponible), y un ligero aumento del consumo (+2%) y de la producción de leche (+5%). Sin embargo, se observa también una disminución importante del contenido en grasa de la leche (-6%) que estuvo ligada a una menor pérdida de peso corporal al principio de la lactación. Una explicación de este efecto sería que la menor disponibilidad de nitrógeno para los microorganismos supone una mayor absorción de ácido propiónico (al fijarse en menor proporción en la proteína microbiana), y una mayor secreción de insulina que tiende a reducir la movilización de reservas corporales. El contenido proteico de la leche, en cambio, aumenta ligeramente (+3%) respecto a las dietas HCR-PD, al compensarse la menor síntesis de proteína microbiana con la mayor cantidad de proteína de la dieta que pasa directamente al intestino delgado.

La utilización de hidratos de carbono de fermentación lenta junto con proteína más degradable (HCL-PD) supuso niveles relativamente altos de consumo y de contenido en grasa, pero también fue el caso en el que tendió a ser más bajo el contenido en proteína de la leche. Este tipo de dietas da lugar a un déficit de proteína para el animal, ya que la síntesis de proteína microbiana está limitada por el desequilibrio déficit de sustrato energético/exceso de nitrógeno degradable y, por otra parte, el nivel de proteína de la dieta que pasa directamente al duodeno es también relativamente bajo. En estas circunstancias, las vacas tienden a perder significativamente más peso que con las otras dietas, para tratar de compensar el déficit de proteína mediante la movilización de aminoácidos corporales (Nocek y Russel, 1988).

Las dietas con las que se tendió a obtener los mejores rendimientos productivos fueron las que combinaban hidratos de carbono de fermentación lenta con niveles altos de proteína indegradable (HCL-PI). La baja velocidad de fermentación se correspondió con los valores

Efecto de la interacción tipo de cereal \times degradabilidad de la proteína

La síntesis microbiana en el rumen depende tanto del aporte de sustratos energéticos como nitrogenados. Por tanto, un desequilibrio en alguno de ellos, o en su

CUADRO III. BENEFICIOS ESPERADOS POR INCREMENTAR LA FRECUENCIA DE ALIMENTACION CON DIETAS MIXTAS (según Robinson, 1989)

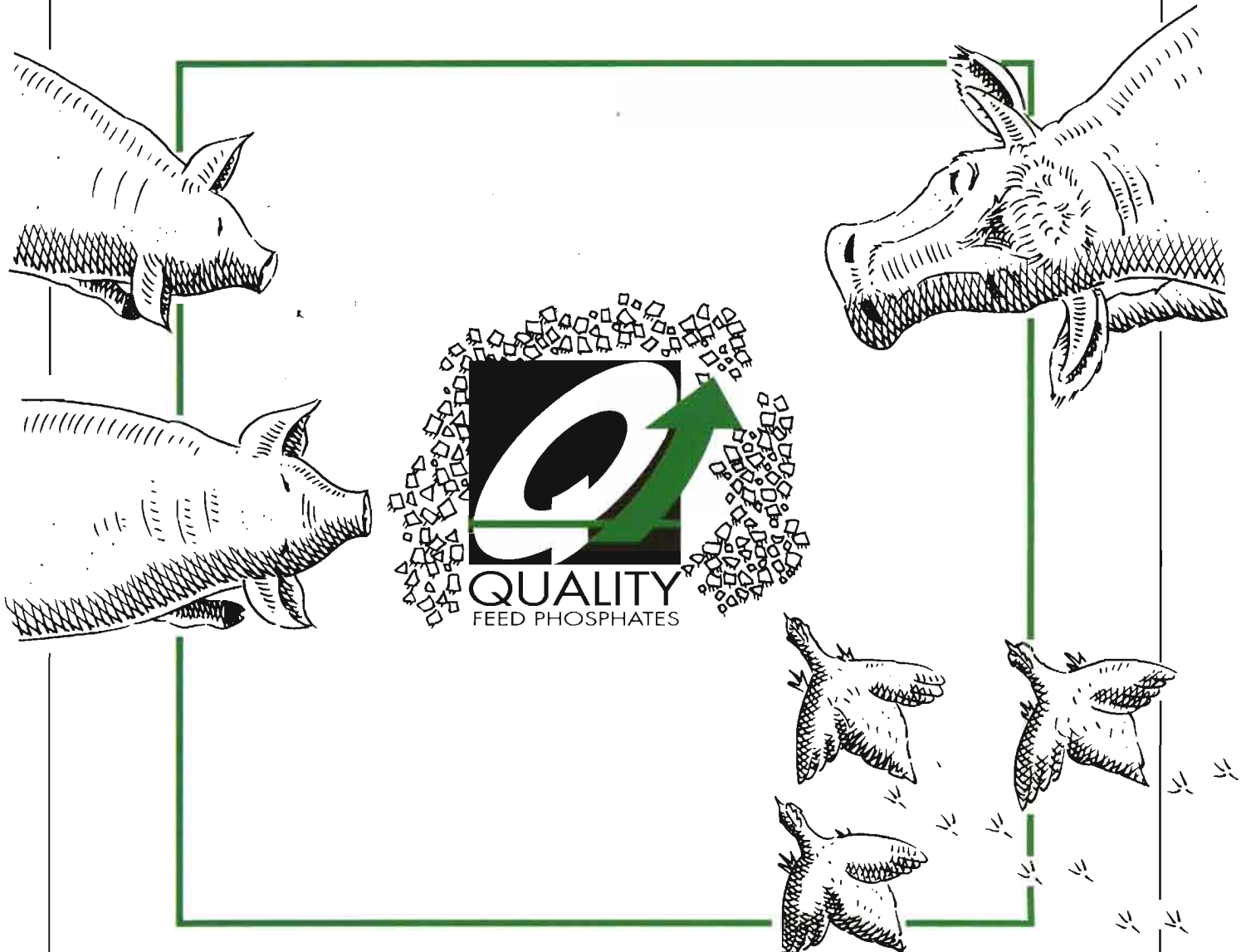
Estado de lactación	Fermentab. de la dieta	Calidad del manejo	Respuesta relativa
Principio (0-12 semanas)	Alta	Buena	+++
	Alta	Pobre	+++++
	Media	Buena	++
	Media	Pobre	++++
	Baja	Buena	+
	Baja	Pobre	++
Media lactación (13-24 semanas)	Alta	Buena	++
	Alta	Pobre	+++
	Media	Buena	+
	Media	Pobre	++
	Baja	Buena	
	Baja	Pobre	+
Final lactación (25-44 semanas)	Alta	Buena	
	Alta	Pobre	+
	Media	Buena	
	Media	Pobre	
	Baja	Buena	
	Baja	Pobre	

CUADRO IV. FRACCIONAMIENTO DE LA PROTEINA Y CARBOHIDRATOS DE ALGUNOS CEREALES Y SUBPRODUCTOS DE ACUERDO CON EL SISTEMA CNCPS (según Sniffen et al., 1992 y Chalupa y Sniffen, 1994)

	Grano cebada	Grano maíz	Cebadilla	Gluten feed	Gluten meal
Fraciones N (% PB total)					
A	5	6	6	49	3
B ₁	12	2	2	0	1
B ₂	75	77	54	43	83
B ₃	2	10	28	6	0
C	6	5	10	2	13
Fraciones HC (% HC totales)					
A	3	3	0	5	0
B ₁	74	86	29	26	53
B ₂	17	8	51	65	39
C	6	3	20	4	8

FOSFATOS ALIMENTICIOS

vitales para la nutrición animal



Para conseguir una producción ganadera óptima, así como una buena conservación del medio ambiente, resulta fundamental suministrar al ganado unas cantidades equilibradas y previsibles de fósforo disponible biológicamente - un fósforo que se presente de manera que el animal lo pueda digerir con facilidad.

A diferencia de otras fuentes de fósforo, sólo los fosfatos alimenticios inorgánicos que lleven el símbolo de calidad de "fosfatos para alimentación animal" garantizan que son los que tienen el contenido en fósforo exigido y la disponibilidad biológica necesaria.

Fabricados con las técnicas de producción más modernas, estos productos ofrecen un alimento suplementario a base de fósforo de la mejor calidad y con unos niveles de impurezas perjudiciales (flúor y metales pesados) mínimos.

Para estar seguro de que proporciona unas cantidades de fósforo equilibradas, use sólo los fosfatos alimenticios inorgánicos que lleven el símbolo de calidad de "fosfatos para alimentación animal".

 **CEPIC**

EUROPEAN CHEMICAL INDUSTRY COUNCIL

FOSFATOS ALIMENTICIOS INORGÁNICOS

grupo sectorial del C E P I C

Av. E. Van Nieuwenhuyse 4 - Box 2 - B-1160 Brussels
Tel.: (32) 2 676 72 79 - Fax: (32) 2 676 73 01

INFORME

más altos de ingestión, producción de leche y contenido en grasa, y con niveles intermedios de movilización de reservas. Aunque la síntesis de proteína microbiana está por debajo de la potencialmente alcanzable, el contenido proteico de la leche fue relativamente elevado, dada la alta concentración de proteína indegradable en la dieta.

Método de la Universidad de Cornell

Los resultados reflejados en el apartado anterior sugieren el interés de considerar en la formulación práctica la sincroniza-

borato-fosfato, pero soluble en solución detergente neutro), incluye las glutelinas y la mayor parte de las albúminas y se caracteriza por niveles intermedios de degradabilidad, pero alta digestibilidad total (próxima al 100%). La fracción B₃ (proteína soluble en detergente ácido, pero insoluble en detergente neutro) contiene prolaminas, extensinas y proteínas desnaturalizadas, que se degradan lentamente en el rumen por estar asociadas a la pared celular; un alto porcentaje de esta fracción escapa a la degradación ruminal y su digestibilidad total es del orden de un 80%. La fracción C corresponde a la proteína insoluble en detergente ácido y contiene proteínas asocia-

rumen, la síntesis de proteína microbiana, la producción de amoníaco, el total de nutrientes absorbidos, y el flujo de alimento hacia el intestino grueso. El uso del modelo se ha validado para la formulación práctica de dietas tanto para vacuno de carne como para vacuno lechero (Fox et al., 1992).

Conclusiones

La formulación de los hidratos de carbono no estructurales en dietas de ganado vacuno lechero debe tener en cuenta al menos las siguientes consideraciones:

1. Maximizar la ingestión de materia seca (especialmente en vacas de alta producción). Para ello deben evitarse descensos bruscos del pH ruminal, asociados a niveles elevados de cereales altamente fermentables. La recomendación más habitual es de un máximo de 42% de CNE, pero deben tenerse también en cuenta el tipo de cereal empleado, el método de procesado utilizado y el sistema de alimentación (unifeed vs alimentación separada). Igualmente debe incluirse un nivel mínimo de CNE (o máximo de FND) para evitar un tiempo de fermentación de la dieta excesivamente largo. Cuando se usan fuentes de fibra fácilmente fermentables este mínimo se sitúa en niveles de un 32-35%, en función del estado de lactación.

2. Controlar la digestibilidad de los granos, vigilando la aparición en heces de granos intactos o un pH del estiércol inferior a 6,0. En estos casos, reducir el aporte de granos o aumentar su grado de procesado.

3. Optimizar la síntesis de proteína microbiana, ya que suele ser más barato que suministrar fuentes de proteína bypass. Para ello es necesario aportar carbohidratos de diferente velocidad de degradación y sincronizarlos con el aporte proteico. El sistema de Cornell supone una primera aproximación para abordar este problema, pero su utilización debe todavía validarse en la práctica. Mientras tanto, la recomendación es diferenciar y utilizar materias primas variadas para suplementar los forrajes.

4. Optimizar el aporte de nutrientes para la síntesis de leche que en buena medida viene determinado por la fermentación de los carbohidratos, al ser las vías principales para la síntesis de grasa y lactosa y por su aporte energético para la síntesis de proteína láctea. ■

NOTA.—Este trabajo está resumido en lo esencial. Las figuras explicativas de las referencias se encuentran a disposición de lector interesado, así como una amplia bibliografía aportada por los autores.



El suministro conjunto de forrajes y concentrados reduce el efecto negativo de dietas concentradas en almidón.

ción entre los procesos fermentativos de los hidratos de carbono y la proteína. En este sentido, la Universidad de Cornell ha propuesto un método (Russell et al., 1992; Sniffen et al., 1992; Fox et al., 1992) en el que los componentes hidrocarbonados y nitrogenados del alimento se subdividen en varias fracciones, de acuerdo con su velocidad de degradación ruminal y con su digestibilidad total. Algunos ejemplos para cereales y subproductos se presentan en el **cuadro IV**.

La fracción A del nitrógeno incluye el nitrógeno no proteico (aminas, nitratos, aminoácidos, péptidos) y es convertida a amoníaco en el rumen muy rápidamente. La fracción B₁ (proteína soluble en un buffer borato-fosfato) incluye las globulinas y algunas albúminas, y es rápidamente degradada en el rumen. La fracción B₂ (proteína insoluble en buffer

das a lignina, taninos, y productos de Maillard, que se consideran totalmente indigestibles para el animal.

Dentro de los hidratos de carbono, la fracción A corresponde a los azúcares y es rápidamente degradable. La fracción B₁ se calcula como (CNE - azúcares) e incluye principalmente almidón, pectinas, β-glucanos, galactanos y fructanos, y se considera de velocidad de degradación intermedia. La fracción B₂ (degradación lenta) se define como FND degradable y se determina a partir de (FND total - 2,4 x LAD). La fracción C (2,4 x LAD) corresponde a la fibra indigestible.

A partir de este fraccionamiento y de la estimación de valores de velocidad de paso y de digestión para cada alimento, el sistema compara la velocidad de fermentación de los carbohidratos con la de la proteína y predice la MO digestible en el