

Utilización de copos de maíz en la alimentación de vacas de leche

JUAN ACEDO-RICO GONZÁLEZ¹, PALOMA GARCIA REBOLLAR² Y VICENTE JIMENO²

INTRODUCCIÓN

El almidón es la principal fuente de energía de las raciones de vacas de alta producción, en ellas representa el 60-70% de la fracción de carbohidratos no fibrosos y entre un 25 a un 30% del total de la materia seca consumida. Con respecto a otros concentrados energéticos ricos en fibra soluble (pulpas de remolacha y de cítricos, cascari-lla de soja), los granos de cereales se caracterizan por su elevado contenido en almidón y su baja proporción de paredes celulares. Los valores medios obtenidos en una amplia revisión (Huntington, 1997) de datos publicados muestran que el trigo es el cereal con mayor contenido en almidón (77%), seguido del maíz y sorgo (72%) y finalmente por cebada y avena (57-58%). No obstante, estos valores medios no reflejan los efectos debidos a diferentes variedades, localizaciones, año, condiciones climáticas o prácticas agronómicas. En este sentido, la comparación directa entre granos de cereales de un mismo proveedor local (Herrera-Saldana et al., 1990) muestra que el menor coeficiente de variación del contenido en almidón es para el maíz (2,4%) y el mayor para la avena (6,1%). 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. El efecto del procesado (vapor, temperatura, presión, etc) es siempre mayor en los cereales con mayor proporción de endospermo córneo (maíz y sorgo). Por tanto, en este trabajo se revisarán la influencia de distintos tipos de procesado del grano de maíz sobre su valor nutritivo para vacas de leche y sus efectos sobre la producción y composición de la leche producida.



DIGESTIÓN DEL ALMIDÓN EN EL RUMEN: EFECTOS DEL PROCESADO

Los granos de cereales enteros, con el pericarpio intacto, son completamente resistentes a la digestión ruminal debido a que la continuidad de la superficie de la semilla impide la colonización microbiana (McAllister et al., 1994). La ruptura del pericarpio del grano mediante la masticación y/o distintos métodos de procesado es, por tanto, imprescindible para iniciar su proceso de digestión. Los granos de cereales pueden ser procesados mediante la aplicación de distintas combinaciones de calor, humedad, tiempo y acciones mecánicas. Estos tratamientos aumentan la digestibilidad ruminal del almidón al proporcionar puntos de acceso que permiten la colonización bacteriana de los gránulos de almidón.

El almidón es hidrolizado a glucosa en el rumen principalmente por la acción de amilasas y otras carbohidrasas extracelulares o asociadas a la superficie de las bacterias. Los protozoos también juegan un papel importante en el catabolismo de los 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 pero sus hifas pueden jugar un

papel importante al producir lesiones en la superficie de los tejidos vegetales que favorecen la colonización bacteriana (McAllister et al., 1994). 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, por la vía lactato es predominante cuando los animales consumen dietas con altos

niveles de concentrados. En estas condiciones, el ácido láctico se acumula en el rumen y hace que disminuya el pH del rumen. La acidosis del contenido ruminal ($\text{pH} < 6$) 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 con sus implicaciones sobre la composición de la leche.

A diferencia de otros cereales (trigo, cebada, avena) de fermentación ruminal muy rápida, la digestión del almidón del maíz en la mayoría de las raciones prácticas de rumiantes no es completa. Existen no obstante diferencias según el tipo de procesado, 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. Una fermentación más rápida y completa del almidón en el rumen supone más energía disponible para los microorganismos del rumen, favoreciendo la síntesis de proteína microbiana, pero también aumenta la posibilidad de ocasionar problemas de acidosis en raciones concentradas y de reducir la fermentación de la fracción fibrosa. En el cuadro 1 se muestra los resultados de una revisión de 20 trabajos publicados (Huntington, 1997) acerca

¹ Acedo-Rico & Asociados S.L.

² Dpto. Producción Animal. EUITA. UPM

Cuadro 1. Efecto de distintos tipos de procesado sobre los coeficientes de digestibilidad del almidón en diferentes tramos del aparato digestivo (Huntington, 1997)

Procesado	Almidón consumido, kg/d	Digestibilidad			Tracto total
		Rumen	Postrumen		
		% Consumo	% Consumo	% Entrada ID	
Aplastado	2,06	76,2	16,2	68,9	92,2
Copos	2,20	84,8	14,1	92,6	98,9
Vapor +aplastado	6,91	72,1	19,0	68,2	91,2
Alta humedad	3,89	89,9	6,3	67,8	95,3
Molido	10,65	49,5	44,0	86,5	93,5

del efecto de diferentes tipos de procesado del grano de maíz sobre la digestión del almidón en los distintos tramos del aparato digestivo de rumiantes. Dado que no existe relación entre las cantidades consumidas de almidón y la digestibilidad ruminal, la capacidad de digerir almidón del rumen no tiene un límite aparente en condiciones prácticas.

La molienda de los granos de maíz, al romper las células del endospermo, facilita la colonización y digestión microbiana y, por tanto, la degradación del almidón en el rumen. 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. 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. 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 es, por tanto, prácticamente completa (Theurer, 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 (de Blas et al., 1995).

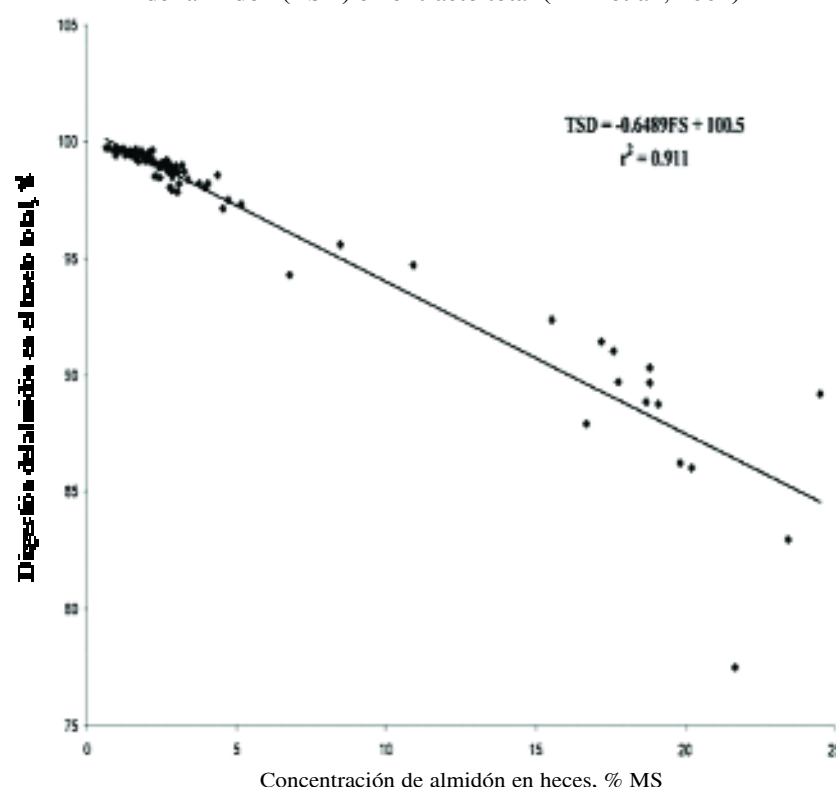
La eficacia del procesado por vapor y presión del maíz depende de una interacción adecuada entre calor, humedad y acción mecánica. Así, un aporte insuficiente de agua produce una gelatinización incompleta aunque la temperatura sea elevada, y puede también estar asociada a la formación de almidón retrogradado (menos digestible). El vapor o la cocción

del grano sin la acción mecánica de la presión (copos) reducen la fermentación del almidón desde un 87 a un 30%, medida por la producción de gas in vitro a 3 horas (Trei et al., 1966). La fricción o ruptura de los gránulos de almidón que supone la formación de los copos hace que: i) una proporción mayor de gránulos de almidón sea expuesta a la gelatinización por el tratamiento con calor y humedad y ii) rompe la matriz proteica insoluble que encapsula los gránulos de almidón favoreciendo los procesos amilolíticos y proteolíticos, tanto a nivel ruminal como en el intestino delgado. 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 (Theurer et al., 1999) pueden diferir en función de considerar los resultados obtenidos en trabajos para maximizar los rendimientos

productivos de vacas en lactación (≈ 360 g/L) o la digestión del almidón en el tracto digestivo (entre 309 a 386 g/L).

Considerando que la medida de la densidad de los copos varía en función de la temperatura en qué se realiza la medición, a la vez que se utilizan recipientes más grandes que los habitualmente empleados para determinar la densidad de los granos de cereales, al existir una menor fricción con los lados del cubo, Zinn et al. (2002) proponen la medida directa de la concentración de almidón en heces para estimar que el procesado en copos ha sido adecuado. En una revisión de 64 ensayos, las diferencias en densidad de los copos explicaron un 68% y un 91% de la variación observada en la digestión del almidón en el rumen y en el tracto total, respectivamente (figura 1). Por el contrario, la relación entre la concentración de almidón fecal y el pH fecal fue pequeña ($n=40$; $r^2=0,15$), lo que sugiere que otros factores (p.ej. buffers añadidos a la ración) pueden limitar la validez de medida del pH fecal para evaluar la eficacia del procesado en copos del grano de maíz. Recientemente, DePeters et al. (2003) han propuesto la medición de la producción de gas in vitro a 8 horas para determinar los efectos del procesado sobre la velocidad de fermentación y para identificar diferencias entre fabricantes de maíz en copos respecto a la digestibilidad

Figura 1. Relación entre la concentración de almidón en heces (FS) y la digestión del almidón (TSD) en el tracto total (Zinn et al., 2002)



potencial de los granos procesados para vacuno de leche.

EFFECTO DEL PROCESADO SOBRE LA DIGESTIÓN POST-RUMINAL DEL ALMIDÓN

El almidón que no es digerido en el rumen por los microorganismos llega al intestino delgado, donde puede ser hidrolizado a glucosa por las amilasas pancreáticas, y posteriormente al ciego e intestino grueso donde puede ser fermentado por la flora microbiana allí residente. Los principales límites a la digestión intestinal del almidón en vacas en lactación parecen ser más el tiempo de digestión y la estructura de las partículas (en el caso del maíz, la matriz proteica insoluble que rodea los gránulos de almidón) que la capacidad amilásica (Owens et al., 1986). Tal como se muestra en el cuadro 1, la digestibilidad intestinal del almidón es inversamente proporcional a la digestibilidad ruminal (expresado como % del consumo), de modo que la digestibilidad total (fecal) del almidón del maíz es generalmente superior al 90%. No obstante, puede también apreciarse que el procesado por vapor y presión tiende a incrementar su digestibilidad total (98,9%) respecto al resto de tratamientos (93,0%). De acuerdo con la revisión de Theurer (1986), la digestibilidad de la materia seca del maíz 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. Generalmente, la digestibilidad del almidón aumenta en mayor proporción que la de la materia seca, entre un 10 a un 20% por efecto del procesado en copos, y la digestibilidad de la proteína y de la FND muestra resultados no consistentes, desde la ausencia de efectos significativos a la reducción en igual porcentaje que la mejora observada para la digestibilidad del almidón (NRC, 2001). El cuadro 2 muestra los resultados obtenidos en un trabajo (Yu et al., 1998) donde se compararon 5 tipos de procesado del maíz sobre la digestibilidad de nutrientes en el tracto total.

La revisión de los resultados obtenidos en tres ensayos de digestibilidad (Metcalf et al., 1994; Plascencia y Zinn, 1996; Crocker et al., 1998) muestra que vacas en lactación que reciben dietas con maíz en copos digieren un 50% más de almidón en el rumen (52 vs 35%), un 50% más a nivel postruminal (93 vs 61%; como porcentaje del almidón que entra en el intestino) y un 25% más en el tracto total (97 vs 78%)



almidón que escapa a la fermentación ruminal para satisfacer sus elevadas necesidades de producción de leche.

EFFECTO DEL PROCESADO SOBRE LOS RENDIMIENTOS PRODUCTIVOS DE GANADO VACUNO LECHERO

El procesado en copos del maíz (humedad, temperatura y presión), con un adecuado control de calidad de las condiciones de fabricación, mejora consistentemente los rendimientos productivos de vacas en lactación, especialmente la producción de leche corregida en grasa y la producción de proteína. El NRC (2001) estima en un 4,5% el porcentaje de mejora en la producción de leche corregida en grasa respecto al suministro de maíz molido y, en comparación con el suministro de maíz aplastado, señala que algunos trabajos observan un aumento significativo en el nivel de proteína y una disminución del porcentaje de grasa en la leche. En el cuadro 3 se presentan los resultados de una revisión (Theurer et al., 1999) que analiza conjuntamente los datos obtenidos en 6 comparaciones entre maíz en copos y maíz aplastado de 4 ensayos con vacas en lactación (92 vacas, 6-8 vacas/tratamiento y duración media de los ensayos de 10 semanas). Las dietas se suministraron con unifeed y contenían un 35-40% de fibra larga (heno de alfalfa picado) y un 37-40% de

comparadas con las que reciben dietas con maíz aplastado. Además, en estos estudios el flujo de proteína microbiana al duodeno fue de media un 18% mayor en vacas alimentadas con maíz en copos respecto a maíz aplastado (1,23 vs 1,04 kg/d). La digestibilidad ruminal de almidón estuvo positivamente correlacionada con la digestibilidad en el tracto total ($r^2=0,67$) y con el contenido en proteína de la leche ($r^2=0,54$), mientras que la digestibilidad del almidón a nivel del intestino delgado (expresada en porcentaje del consumo) resultó negativamente correlacionada ($r^2=-0,73$) con el nivel de proteína de la leche (Theurer et al., 1999). Estos autores y Huntington (1997) concluyen que las vacas de alta producción se benefician más de un aumento en el aporte de almidón de maíz fácilmente fermentable en el rumen que de un incremento en el flujo de

Cuadro 2. Efecto del procesado del maíz sobre las digestibilidades de los nutrientes en el tracto digestivo total de vacas en lactación (Yu et al., 1998).

	Dietas ¹					
	FM	GM	C-L	C-M	A	ESM
Materia orgánica	74,4 ab	72,7 b	69,1 c	71,5 bc	77,7 a	1,2
Proteína	71,9 b	71,1 b	65,3 c	67,7 c	75,6 a	1,2
Almidón	95,8 a	87,4 c	97,5 a	95,7 a	91,3 b	1,1
FAD	46,1 c	56,3 ab	30,3 d	54,4 b	64,1 a	2,9
FND	54,4 c	62,8 b	41,0 d	57,0 bc	69,3 a	2,9

¹ FM: molido fino (580 g/L); GM: molido grosero (618 g/L); CL: copos densidad baja (309 g/L); CM: copos, densidad media (360 g/L); A: aplastado (490 g/L).

Cuadro 3. Efecto del procesado del grano de maíz (aplastado vs copos) sobre la digestión del almidón en el tracto total y los rendimientos productivos de vacas en lactación (Theurer et al., 1999).

	Aplastado	Copos	ESM	P <
MSi, kg/d	26,5	26,5	0,4	0,93
Prod. Leche 3,5% grasa, kg/d	33,6	34,6	0,3	0,07
Prod. Leche, kg/d	35,8	38,0	0,4	0,02
Proteína, %	2,99	3,06	0,02	0,11
Proteína, kg/d	1,07	1,16	0,01	0,01
Grasa, %	3,11	2,98	0,03	0,02
Grasa, kg/d	1,12	1,13	0,01	0,44
Digestión total del almidón, %	87,4	95,7	2,0	0,05

grano de cereal. Los resultados obtenidos muestran un incremento significativo del 9% en la digestión total del almidón (96 vs 87%), del 6% en la producción de leche (+1 kg/d de leche corregida al 3,5% de grasa) y del 8% en la producción de proteína de la leche (0,07 unidades porcentuales). Por el contrario, el procesado por vapor redujo en un 4% el porcentaje de grasa de la leche y no afectó a la producción total de grasa en leche ni a la eficacia de conversión de la materia seca de la ración de forma significativa. Consecuentemente, Theurer et al. (1999) calculan que el procesado en copos del maíz aumenta en un 18% la energía neta de lactación del grano de maíz respecto al maíz aplastado.

El incremento en el porcentaje de proteína de la leche, asociado al suministro del maíz en copos en las raciones de vacas en lactación, parece estar relacionado con una síntesis mayor de proteína microbiana debida al aumento de la digestión de almidón en el rumen como consecuencia del procesado. La mayor síntesis de proteína microbiana reduce la concentración de amoníaco en el rumen (Aldrich et al., 1993) y favorece el reciclado de urea mejorando la eficacia de utilización del N para la producción de leche (Huntington, 1997). Como consecuencia de todo ello con el empleo de copos de maíz se deberían esperar reducciones del contenido de la concentración de urea en sangre y leche.

Resultados de trabajos recientes (Delgado -Elourdy et al., 2002, Tagari et al., 2004) confirman estas hipótesis, indicando que el reciclado de urea en sangre y el suministro de aminoácidos esenciales y de péptidos unidos a aminoácidos a la glándula mamaria aumenta en un 140, 115 y 166%, respectivamente, con el maíz procesado en copos respecto al maíz aplastado. La mejora en la eficacia de utilización del nitrógeno de la dieta en la glándula mamaria por el suministro de maíz en copos en las raciones explicaría el aumento observado en la producción de proteína de la leche en ensayos con vacas en lactación.

Es importante destacar, no obstante, que en todos los ensayos que comparan el maíz en copos vs aplastado el forraje utilizado en las raciones fue el heno de alfalfa y que resultados similares han sido observados en otros trabajos con silo de alfalfa como forraje base de la ración. Por el contrario, resulta difícil encontrar trabajos publicados sobre el efecto del procesado

en copos del maíz en raciones con una alta proporción de silo de maíz. La fibra de los henos de leguminosas (por su alto contenido en pectinas, lignina y aminoácidos) tiene una mayor capacidad buffer que la fibra de gramíneas (silo de maíz, ray grass, paja). Los resultados de un trabajo (Kung et al., 1992) en el que se compara 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 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 sólo en la dieta que incluía 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 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 velocidad de digestión, así como el perfil en aminoácidos del flujo de proteína que llega al duodeno, puede afectar significativamente al resultado de la digestión ruminal. En el cuadro 4 se muestra el efecto de

la interacción entre la velocidad de fermentación de la fracción hidrocarbonada (maíz en copos vs maíz aplastado) y la degradabilidad de la fuente de proteína (HS = harina de soja 44 (70% de PB degradable) vs PR = una mezcla de harinas de pescado y plumas con metionina protegida = 30% de PB degradable) sobre la producción y composición de la leche de vacas de alto potencial productivo (> 35 kg/d). Las dietas eran isoenergéticas e isonitrogenadas, y cubrían todas las necesidades del NRC (1989), siendo similar su contenido en proteína degradable (12% para las dietas con HS y 10% para las dietas con la mezcla PR) y mayor el contenido en almidón fermentable en las dietas con copos de maíz vs dietas con maíz aplastado (24,7% vs 21,4% de la materia seca de la ración).

Tanto el consumo de materia seca como la producción de leche no resultaron significativamente afectados por el tratamiento, pero las vacas que recibían maíz en copos producían de media 1,5 kg/d más de leche que las que recibían el maíz aplastado. Cuando además se incorporaba a la ración una fuente de proteína indegradable de alta calidad (PR), las vacas que consumían maíz en copos incrementaban su producción en 2,7 kg/d. Calculando el ratio de almidón degradable /proteína degradable de las dietas, se comprobó que el aumento de este ratio provocaba un incremento lineal estadísticamente significativo en la producción de leche. Estos resultados

confirman el concepto de que la maximización de la fermentación ruminal mediante la administración de almidón más degradable (cereales en copos) un adecuado nivel de proteína degradable y la suplementación adicional con una fuente de proteína indegradable de alta calidad (soja by-pass) aumenta consistentemente la producción de leche en vacas de

Cuadro 4. Efecto del procesado del grano de cereal¹ y de la fuente de proteína sobre los rendimientos de vacas en lactación (Santos et al., 1998).

Cereal tratado (1)	SC	SC	MC	MC	MA	MA	ESM	P <	
Fuente de proteína	Soja	PR ²	Soja	PR ²	Soja	PR ²		Cereal	Prot.
MSi, kg/d	25,3	26,9	26,3	26,8	26,0	26,1	1,00	0,89	0,40
Prod. Leche, kg/d	36,5	38,1	36,3	39,9	36,7	35,6	1,43	0,41	0,26
Leche 3,5% grasa, kg/d	34,9	36,1	34,7	36,7	35,5	34,9	1,15	0,90	0,36
Proteína, %	2,90	2,98	2,98	3,08	2,89	2,91	0,06	0,12	0,19
Proteína, kg/d	1,05	1,13	1,08	1,22	1,04	1,04	0,04	0,04	0,04
Grasa, %	3,23	3,20	3,31	3,00	3,33	3,26	0,11	0,44	0,14
Grasa, kg/d	1,18	1,21	1,18	1,21	1,21	1,19	0,05	0,99	0,76

¹SC: sorgo copos ;MC: maíz copos; MS: maíz aplastado.

²Mezcla de de harinas de pescado y de plumas con metionina protegida.

alta producción (Santos et al., 1998). En comparación con dietas con maíz aplastado, las vacas que recibían el maíz en copos en sus dietas producían 80 g/d más de proteína en leche. De acuerdo con los resultados de otros trabajos (Wu et al., 1998; Tagari et al., 2004), este incremento del porcentaje de proteína en leche fue debido a un incremento del flujo de proteína microbiana al duodeno, al tratarse de una fuente de proteína de alta calidad y bien balanceada para la producción de leche.

CONCLUSIONES

La incorporación de maíz en copos en la alimentación de vacas de leche, comparado con el maíz aplastado sin un tratamiento térmico ó simplemente molido mejora los rendimientos productivos de vacas en lactación, particularmente la producción de leche corregida en grasa y la producción de proteína en leche. Esto sucede debido a que el procesado en copos (vapor y presión) del grano de maíz aumenta la digestión ruminal del almidón, provocando un mayor reciclaje de urea al rumen y un aumento en el suministro de aminoácidos (mayor síntesis de proteína microbiana) y de otros nutrientes a la glándula mamaria.

Por tanto, las recomendaciones tradicionales de niveles óptimos de forraje/concentrado se han modificado hacia niveles óptimos de FND o de su complemento CNF (carbohidratos no fibrosos=MO-PB-EE-FND) en el conjunto de la ración. Además, en la formulación práctica son necesarias 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. También, 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.

La formulación de los niveles de almidón en raciones de vacas de alta producción debe tener en cuenta al menos las siguientes consideraciones:

1. Maximizar la ingestión de materia seca: Para ello deben evitarse descensos bruscos del pH ruminal, asociados a niveles elevados de cereales altamente fermentables (cebada, trigo). La recomendación más habitual es de un máximo de 42% de CNF, 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 CNF (o un 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, vigilar la aparición en heces de granos intactos o el contenido en almidón de las heces (máximo de 2-3%). En estos casos, reducir el aporte de granos o asegurarse que el procesado de los mismos ha sido adecuado.

3. Optimizar la síntesis de proteína microbiana, siempre más rentable que suministrar fuentes de proteína bypass. Para ello es necesario aportar carbohidratos fácilmente fermentables en el rumen y sincronizarlos con el aporte proteico.

4. Optimizar el aporte de nutrientes para la síntesis de leche que en buena medida viene determinado por la fermentación de los carbohidratos en el rumen. Esto es debido a que son las vías principales para la síntesis de grasa y lactosa y por su aporte energético para la síntesis de proteína láctea.

5. Atención a la calidad de los copos. Si se decide emplear en las raciones de vacas de leche de alta y media producción copos de maíz en lugar de maíz molido, se deben utilizar exclusivamente copos procesados con vapor y que hayan sido enfriados adecuadamente tras su proceso.

El empleo de maíz aplastado (normalmente disponible en el mercado) no reúne las anteriores características y suele acabar siendo una fuente de contaminación microbiológica a la ración si no se seca debidamente tras su proceso.

6. El conjunto de procesos industriales para la fabricación de copos de maíz estarían secuenciados en las siguientes actuaciones:

- Limpieza del grano



- Molturación ó no según procesos posteriores
- Acondicionamiento con vapor
- Tratamiento de fricción o/y Lamina-ción
- Secado- Enfriado
- Cribado de finos previo a expedición

Los copos fabricados sin la aplicación de estos procesos de forma adecuada acaban no aportando las ventajas productivas anteriormente expuestas y no representan mas que un sobre coste para el maíz y por tanto para la ración final.

REFERENCIAS

- ALDRICH, J.M., MULLER, L.D., VARGA, G.A. y GRIEL, L.C. (1993) J. Dairy Sci. 76, 1091-1105.
- CROCKER, L.M., DEPETERS, E.J., FADEL, J.G., PEREZ-MONTI, H. TAYLOR, J.A., WYCKOFF, J.A. y ZINN, R.A. (1998) J. Dairy Sci. 81, 2394-2407.
- DE BLAS, C., G. REBOLLAR, P. y MENDEZ, J. (1995) Proc. XI Curso de especialización FEDNA. Barcelona.
- DELGADO-ELOURDY, A., THEURER, C.B., HUBER, J.T., ALIO, A., LOZANO, G., SADIK, M., CUNEO, P., DE YOUNG, H.D., SIMAS, I.J., SANTOS, J.E.P., NUSSIO, L., WEBB, K.E. y TAGARI, H. (2002). J. Dairy Sci. 85, 160-168.
- DEPETERS, E.J., GETACHEW, G., FADEL, J.G., ZINN, R.A., TAYLOR, S.J., PAREAS, J.W., HINDERS, R.G. y ASELTINE, M.S. (2003) An. Feed Sci. Technol. 105, 109-122.
- HERRERA-SALDANA, R., GOMEZ-ALARCON, R., TORABI, M. y HUBER, J.T. (1990) J. Dairy Sci. 73, 142-148.
- HUNTINGTON, G.B. (1997). J. Dairy Sci. 75, 852-867.
- JOY, M. T., DEPETERS, E. J., FADEL, J. G. y ZINN, R. A. (1997). J. Dairy Sci. 80, 2087-2097.
- KUNG, L.Jr., TUNG, R.S. y CARMEAN, B.R. (1992) An. Feed Sci. Technol. 39, 1-12.
- McALLISTER, T.A., PHILLIPPE, R.C., RODE, L.M. y CHENG, K.J. (1993) J. Anim. Sci. 71, 205-212.
- NRC (2001). Nutrient requirements of dairy cattle. National Academic Press.
- OWENS, F.N., ZINN, R.A. y KIM, Y.K. (1986) J. Anim. Sci. 63, 1634-1648.
- PLASCENCIA, A. y ZINN, R.A. (1996) J. Anim. Sci. 74, 310-316.
- SANTOS, J.E.P., HUBER, J.T., THEURER, C.B., NUSSIO, L.G., TARAZON, M. y SANTOS, F.A.P. (1999) J. Dairy Sci. 82, 728-737.
- TAGARI, H., WEBB, K., THEURER, C.B., HUBER, J.T., DE YOUNG, H.D., CUNEO, P., SANTOS, J.E.P., SIMAS, I.J., SADIK, M., ALIO, A., LOZANO, G., DELGADO-ELOURDY, A., NUSSIO, L., NUSSIO, C., y SANTOS, F. (2004). J. Dairy Sci. 87, 413-430.
- THEURER, C.B. (1986) J. Anim. Sci. 63, 1649-1662.
- THEURER, C.B., HUBER, J.T., DELGADO-ELOURDY, A. y WANDERLEY, R. (1999) J. Dairy Sci. 82, 1950-1959.
- TREI, J., HALE, W.H., THEURER, B. (1966) Ariz. Cattle Feeders Day, Tucson, pp: 34-39.
- YU, P., HUBER, J.T., SANTOS, F.A.P., SIMAS, J.M. y THEURER, C.B. (1998) J. Dairy Sci. 81, 777-783.
- ZINN, R.A., OWENS, F.N. y WARE, R.A. (2002) J. Anim. Sci. 80, 1145-1156.

