

# Suplementación Energética con Granos de Cereales Forrajeros

● Ing. Agr. Gerardo A. Gagliostro  
INTA EEA Balcarce

*Si bien la pastura es el alimento más barato a utilizar, la aplicación de una correcta suplementación energética permite que la vaca pueda expresar su potencial de producción con respuestas de diferente magnitud en los tenores de grasa y proteína de la leche.*

- La alimentación pastoril es la base de los sistemas sustentables de producción de leche ya que la pastura resulta el alimento más barato a utilizar. Las vacas de mayor potencial se adaptan a la alimentación pastoril a través de un mayor consumo de forraje pero la pastura como único alimento podría satisfacer hasta un 60% de cada kg de leche extra por encima de una producción de 15 kg (Delaby y Peyraud, 2003). La alimentación pastoril requiere generar condiciones pre-disponibles a la maximización del consumo de pasto de la vaca. Lograr este objetivo a partir de ofertas elevadas de forraje (60 kg MS por vaca/día) no constituye una solución recomendable ya que genera alturas crecientes en la biomasa residual de fin de pastoreo lo que conduce a una baja eficiencia de cosecha y a un deterioro progresivo en la calidad del pasto (Peyraud y Delaby, 2005). La producción de leche y sólidos es dependiente de la naturaleza de la energía consumida: fibra, proteína, hidratos de carbono no estructurales y lípidos. Para una adecuada eficiencia de conversión a sólidos, una importante cantidad de energía debe ser aportada bajo la forma de precursores glucogénicos (PG). Los mismos estarán representados por el ácido propiónico (C<sub>3</sub>) si se utiliza el grano de maíz ensilado húmedo (alta digestión ruminal) o la glucosa disponible a nivel duodenal utilizando grano seco de maíz molido grueso (3,5 mm) cuyo almidón presenta una degradabilidad ruminal de un 50% para genotipos dentados (Rémond y otros, 2004). Se ha postulado que una digestión duodenal del almidón resulta más eficiente en términos energéticos (Harmond y Macleod, 2001) presentando un menor efecto depresor sobre el tenor graso de la leche que la disponibilidad de C<sub>3</sub> (Rigout y otros, 2003). La digestión postruminal del almidón contribuye a atenuar los cuadros de timpanismo, acidosis y laminitis en la vaca (Owens y otros, 1998) efecto que puede potenciarse también utilizando híbridos de maíz denominados alto aceite (MAA) debido a su menor contenido de almidón (Dado, 1999).

El principal destino de la producción de leche a nivel nacional son los lácteos concentrados como el queso y la leche en polvo. El parámetro que mayor influencia tiene sobre el rendimiento para la elaboración de quesos es la concentración proteica de la leche

existiendo una relación directa entre la aptitud tecnológica de la leche y el margen económico por litro elaborado (Taverna, 2005). Todo aumento en la disponibilidad de los PG, y fundamentalmente de la glucosa, resulta clave para maximizar la concentración proteica de la leche y la síntesis de lactosa (Rigout y otros, 2002, 2003; Lemosquet y otros, 2004). Un mayor ingreso de lactosa al lumen del alvéolo mamario induce un aumento del transporte de agua a la glándula y por lo tanto del volumen de leche producida. En condiciones no pastoriles de alimentación, los intentos por definir el nivel más adecuado de glucosa disponible en intestino capaz de maximizar la síntesis de leche (y secreción de proteína) han dado resultados variables. Trabajando con silaje de pastura, Rigout y otros (2003) informaron incrementos curvilíneos en la producción de leche, incrementos lineales en la concentración proteica de la leche (+0,04% por Mcal de PG) y decrementos curvilíneos en la concentración grasa de la leche (-0,14% por Mcal de PG) ante el reemplazo de energía no glucogénica por PG. La máxima respuesta en leche y proteína se obtendría cuando la absorción intestinal de energía bajo la forma de PG es del orden de 8-10 Mcal/día (Rigout y otros 2003). Ello equivaldría a 1,63 y 2,04 kg de glucosa absorbida si se asume que 1 kg de glucosa aporta 4,91 Mcal de EM (Armstrong y Blaxter, 1961). Para un maíz con 87% de MS, 73,5% de almidón, una degradabilidad efectiva de 50% (Rémond y otros, 2004) y una digestibilidad intestinal de 78% (Huntington, 1997) la dosis de grano capaz de maximizar la producción de leche estaría comprendida entre 6,56 y 8,20 kg/día. Cuando la absorción total de energía se mantuvo estable, el suministro de glucosa a nivel intestinal también incrementó en forma curvilínea la producción de leche (Hurtaud y otros, 2000; Rigout y otros, 2002) obteniéndose una producción máxima cuando la glucosa representó de un 6-8% del consumo de materia seca (de 1 a 1,4 kg de glucosa/vaca/día, equivalente a 5,4 ó 7,6 kg de grano). En raciones a base de silaje de pastura, Rigout y otros (2002a) informaron que la absorción duodenal de glucosa (de 0 a 2,4 kg/vaca/día ó 0 a 9,8 kg de grano) incrementó la disponibilidad de glucosa, su utilización a nivel mamario y la síntesis de leche. El aumento en la tasa de aparición de la glucosa parece ser un factor clave

para favorecer la captura mamaria de glucosa y la producción de leche (Rigout y otros, 2002b). La comparación de infusiones isoenergéticas ruminales de C3 o duodenales de glucosa demostró que sólo la glucosa resultó efectiva para aumentar la tasa de aparición de este metabolito clave para producción de leche (Lemosquet y otros, 2004). La disponibilidad creciente de PG incrementa a su vez las concentraciones plasmáticas de somatomedina (IGF-1) hormona importante en la regulación de la captura y utilización mamaria de la glucosa y de los aminoácidos necesarios para síntesis de proteína (Lemosquet y otros, 2004). Otros trabajos con raciones a base de silaje de pastura (forraje pobre en PG), informaron que el aporte de glucosa a nivel duodenal resultó efectivo para incrementar la cantidad de leche producida (Huhtanen y otros, 1998; Hurtaud y otros, 2000).

En condiciones de alimentación base pastoril la cantidad de PG disponibles puede constituir un factor limitante sobre todo en pastoreos de otoño-invierno de gramíneas o en praderas con predominancia de alfalfa durante todo el año. Los antecedentes descriptos demuestran que resulta posible manipular la cantidad y composición de sólidos útiles a través de la suplementación energética de la vaca. Cabe destacar que la información existente proviene de trabajos donde la cantidad total de energía ingerida fue mantenida constante a través de infusiones de nutrientes. En sistemas reales de producción la sustitución espontánea de pastura por grano puede comprometer la cantidad total de energía ingerida por la vaca y con ello hacer variar las respuestas productivas o atenuar el incremento esperable en la concentración proteica de la leche ante aportes crecientes de PG por suplementación.

### I. Degradabilidad del almidón en distintos granos forrajeros

Los granos de cereales forrajeros están sujetos a una exhaustiva fermentación a nivel ruminal con la formación de ácidos grasos volátiles (AGV) y células microbianas. La cantidad de almidón que es digerida en el rumen suele variar entre un 50 a un 94% dependiendo del tipo de grano de cereal utilizado y de su procesamiento. El Cuadro 1 presenta valores promedio de los parámetros mencionados en distintas materias primas.

La extensión en la tasa de digestión ruminal de la cebada, la avena y el trigo es alta (80 % en promedio) y resulta inferior y más variable en los almidones de maíz (65 % en promedio) y de sorgo (42 % en promedio) (Nocek y Tamminga, 1991; Santini y Elizalde, 1993). La capacidad by-pass del almidón contenido en la avena, cebada y trigo es virtualmente nula, intermedia en el maíz y alta en el sorgo. A su vez, la capacidad by-pass del almidón disminuye con el procesado del grano (entero>partido> aplastado>molido>vapor>ensilado) y aumenta con el nivel de consumo total de materia seca (MS) puesto que un aumento de 1 kg de MS ingerida provoca una disminución de de 3 puntos en la degradabilidad ruminal de un almidón de lenta tasa de digestión (Robinson et al, 1986). También es importante mencionar que los tratamientos de tipo hidrotérmicos resultan eficaces a fin de aumentar la capacidad natural by-pass de los almidones de lenta velocidad de degradación (maíz, sorgo) y que los tratamientos con aldehído fórmico han logrado proteger almidones de alta velocidad de degradación (trigo) (Mc Allister y otros, 1989).

El conocimiento del perfil de nutrientes generado a través de una decisión de suplementación (AGV, lípi-

● Cuadro 1. Parámetros de degradación del almidón contenido en diferentes alimentos.

Alimentos	fs	fd	Kd	efectiva (%) (1)
	(%)	(%)	(%/h)	
<b>Afrechillo</b> fino de trigo	83,2	16,8	23,6	96,6
<b>Afrechillo</b> grueso de trigo	81,9	18,1	23,1	96,3
<b>Afrechillo</b> de arroz	23,7	76,3	11,8	74,2
Arveja	73,2	28,6	16,3	84,2
<b>Avena</b>	95,7	4,3	11	98,5
<b>Cebada</b>	59,3	40,7	32,2	93,6
Glutenfeed maíz	58,3	41,7	10,2	84,6
Glutenmeal maíz	23,0	77,0	28,6	86,6
Harina de trigo	86,0	14,0	17,8	96,5
<b>Maíz</b>	23,4	76,6	4,9	57,9
Papa	26,0	74,0	4,9	59,3
<b>Sorgo</b>	17,8	82,3	4,4	52,5
Trigo	70,8	29,3	19,4	93,1
Tapioca	67,3	32,7	12,2	89,3

fs = fracción soluble. fd = fracción degradable; Kd = tasa fraccional de digestión  
 (1) Asumiendo una tasa de pasaje del orden de 6 % por hora.

Fuente : Sauvany van Milgen (1995); Sauvany otros, (1994).

dos, glucosa, aminoácidos) tiene una profunda influencia sobre la calidad de la leche ya que la composición de la misma es función del flujo de tales nutrientes hacia la glándula mamaria. La naturaleza de la energía utilizada en suplementación constituye una herramienta nutricional para modificar la composición de la leche. La industria valoriza la recepción de una leche más rica en caseínas a fin de aumentar la eficiencia de transformación de la materia prima en quesos. Uno de los métodos más eficaces de incrementar el tenor proteico de la leche es la suplementación con energía no lipídica (almidones).

**II. Sincronización energía/proteína a nivel de rumen**

En condiciones de pastoreo, podría esperarse una mayor respuesta a la suplementación con almidones de mayor degradabilidad ruminal en forrajes frescos en otoño-invierno debido al alto contenido de proteína degradable de tales recursos. En primavera, las pasturas presentan un balance más adecuado entre hidratos de carbono no estructurales y proteína degradable, pudiendo esperarse una mejor utilización del almidón con mayor capacidad by-pass (maíz).

En uno de los ensayos de primavera, la pastura estuvo compuesta de raigrás (66%) y trébol rojo (34 %) con una disponibilidad promedio de 4100 kg MS/ha. La oferta de forraje osciló entre 32 y 47 kg MS/vaca/día, el % PB entre 18.4 y 19.4, el % FDN entre 46.2 y 48.4 y el de digestibilidad in vitro (MS) entre 62 y 75 %. Las vacas se encontraban en lactancia avanzada (173 ± 34 días postparto) y los resultados se presentan en el Cuadro 2.

La producción de leche resultó menor en el tratamiento sin suplementación, pero no se observaron diferencias entre los almidones de diferente degradabilidad ruminal. El contenido de lactosa fue mayor en los tratamientos con suplementación

(lo que podría explicar la mayor producción de leche observada) pero nuevamente no se observaron diferencias entre ambas fuentes de almidón utilizadas. No hubo ningún efecto de la suplementación o del tipo de almidón sobre el tenor de grasa y proteico de la leche. No se observó ninguna disminución significativa en los valores promedio de pH ruminal ni en las concentraciones promedio de amonio (NH3). Los valores de NH3 en rumen tendieron a ser menores en las vacas suplementadas con cebada, fundamentalmente durante las horas cercanas al suministro del concentrado lo que sugiere una mayor captación del NH3 por parte de la microbiota ruminal. Una mayor captación del NH3 en rumen podría a su vez explicar los menores valores de urea plasmática observados a lo largo de 4 semanas de ensayo.

Durante ciertas épocas del año (principios de primavera, otoño e invierno), las pasturas de calidad presentan contenidos proteicos (20-30%) que se encuentran muy por encima de la concentración requerida por las vacas lecheras. El alto contenido de proteína y una alta degradabilidad de la misma (60-90%) generan elevadas concentraciones de NH3 en rumen (16-60 mg/dl) (Rearte y Santini, 1989). Toda reducción en niveles excesivos de NH3 en rumen (mayores a 10-12 mg/dl) es altamente deseable por dos motivos : a) la conversión en hígado de NH3 a urea es un proceso que requiere energía, b) altos niveles de NH3 pueden conducir a desórdenes metabólicos (Gagliostro y otros, 1996a) problemas reproductivos en la vaca lechera (Folman y otros, 1981). Se ha postulado que niveles de urea circulante superiores a 20 mg/dl estarían asociados a cuadros de sub-fertilidad en la vaca lechera (Ferguson, 1991). La posibilidad de reducir los niveles de urea plasmática con la utilización de almidones de menor capacidad by-pass (cebada, maíz húmedo) puede representar ventajas adicionales en la performance reproductiva del animal

● Cuadro 2. Suplementación con granos de diferente capacidad by-pass del almidón en vacas de lactancia avanzada en primavera: ambiente ruminal y respuesta productiva.

	Control (1)	Maíz (2)	Cebada (3)
Leche (l/día)	12.7a	16.2b	17.4b
GB (%)	3.50	3.30	3.28
GB (g/día)	465	515	581
Proteína (%)	3.51	3.35	3.37
Proteína (g/día)	465	536	608
Lactosa (%)	4.41a	4.64b	4.73b
GPV (g/día)	854c	420d	869d
pH en rumen	6.20	6.12	6.09
Rumen N-NH3 (mg/dl)	11.62	13.4	8.45

(1) Sin suplementación. (2) 5.3 kg/vaca/día. (3) 5.6 kg/vaca/día  
a y b; c y d: Promedios con distinta letra difieren; Pro.02 y Pr 0.012 respectivamente.

Fuente : Gagliostro y otros (1996b)

La suplementación energética suele producir aumentos en el volumen de leche producida y disminuciones tanto en el porcentaje como en la cantidad de grasa butirosa secretada por la glándula mamaria. Estos efectos negativos sobre la síntesis de grasa butirosa se explican por modificaciones en el perfil metabólico y endócrino de la vaca (aumentos en los niveles circulantes de insulina) (Hart, 1983; Baumann y Elliot, 1983. En este ensayo, la utilización de almidones de diferente capacidad by-pass no afectó las concentraciones plasmáticas de glucosa, urea, triacilglicéridos y ácidos grasos libres. Las concentraciones plasmáticas de insulina no fueron incrementadas por la suplementación. Es importante destacar que la insulina y la suplementación energética en fase descendente de lactancia suelen orientar el flujo de nutrientes hacia tejido adiposo (ganancia de

peso) en perjuicio de la glándula mamaria (producción de leche).

Los resultados correspondiente a otro ensayo de primavera analizado (Kloster y otros, 1994) se presentan en el Cuadro 3. La pastura fue similar a la utilizada en el ensayo anterior con una asignación de forraje de 40 kg MS/vaca/día. El % PB fue de 14,9-17,5; el de % FDN de 40,1-39,8 y los valores de digestibilidad in vitro (MS) oscilaron entre 79,2 y 65,3%.

El suministro de concentrados con mayor velocidad de digestión del almidón (cebada) no se tradujo en ningún efecto positivo sobre la producción y composición de la leche. Se observó una disminución del tenor graso de la leche ante la inclusión de cebada en el concentrado. Este efecto podría explicarse por la baja relación acetato/propionato observada (Cuadro 3) ya que los valores estuvieron muy por debajo de lo que se considera como un cuadro de fermentación ruminal normal (3,5-4,0).

● Cuadro 3. Suplementación con granos de diferente capacidad by-pass del almidón en vacas de lactancia media (140 días postparto) en primavera : ambiente ruminal y respuesta productiva.

	Maíz (1)	Cebada (2)	Mezcla (3)
Leche (l/día)	16,6	18,2	18,1
GB (%)	3,28a	3,13ab	2,89b
GB (g/día)	541	568	527
Proteína (%)	3,30	3,26	3,37
Proteína (g/día)	547	593	570
Lactosa (%)	4,63	4,77	4,57
GPV (g/día)	436b	885a	757ab
pH en rumen	6,16	6,04	6,06
Rumen NH <sub>3</sub> (mg/dl)	15,7	14,7	13,5
AGV totales mmol/l	78,6	93,2	85,7
Acético/Propiónico	2,35	2,23	2,21

(1) 7 kg/vaca/día (75% maíz). (2) 7 kg/vaca/día (80 % cebada)  
(3) 7 kg/vaca/día mezcla de ambos cereales (40%:40%).  
a y b: Promedios con distinta letra difieren; P<0,05.

Fuente: Kloster y otros (1994).

● Cuadro 4. Suplementación con granos de diferente capacidad by-pass del almidón en vacas de lactancia media (85 ±17 días postparto) en invierno.

	Control (1)	Maíz (2)	Cebada (3)
Leche (l/día)	17,0a	21,5b	18,4ab
GB (%)	3,45a	3,01ab	2,84b
GB (g/día)	587a	651a	525a
Proteína (%)	3,28a	3,38a	3,31a
Proteína (g/día)	556a	724b	610ab
Lactosa (%)	4,78a	4,84a	4,80a
Lactosa (g/día)	813a	1035b	884ab
GPV (g/día)	-35a	532b	381ab
Consumo Forraje (kg MS/vaca/d)	11,93a	11,02b	10,75b
Consumo de concentrado (kg MS)		6,33a	5,31b

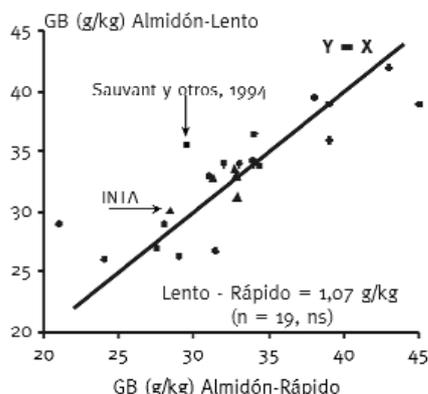
(1) Sin suplementación. (2) 75 % grano maíz en el concentrado.  
(3) 80 % grano de cebada en el concentrado a, b: Promedios con distinta letra difieren significativamente entre sí P<0,05.

Fuente: Gagliostro y otros (1995).

Los resultados de producción y composición de leche en recursos forrajeros de invierno se presentan en el Cuadro 4. La base forrajera estuvo constituida por verdes de avena (3172 ±482 kg MS/ha; 20 % MS) y pasturas de raigrás y trébol rojo (3131 ± 229 kg MS/ha; 24 % MS). Los valores promedio de PB, FDN y DIVMS fueron de 23,9, 35,2 y 81,7 % para avena y de 15,9, 36,4 y 79,6 % para raigrás respectivamente. La asignación total de forraje fue de 26 kg MS/vaca/día.

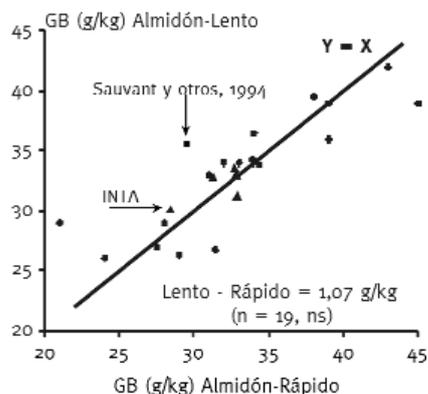
La suplementación a base de maíz aumentó la producción de leche respecto al tratamiento sin suplementación pero al igual que en los ensayos anteriores no se observó ninguna diferencia significativa entre ambos tipos de concentrados. La mayor producción de leche en las vacas suplementadas a base de maíz no estuvo explicada por un mayor tenor de lactosa ni por una mayor captación mamaria de glucosa (Lavandera y Gagliostro, 1995). Puesto que el consumo de forraje estuvo sólo ligeramente disminuido en el tratamiento maíz respecto al control (-0,91 kgMS/vaca/día), la mayor producción de leche podría explicarse por un mayor consumo total de energía como consecuencia de la suplementación. La ausencia de diferencias en producción de leche entre los tratamientos cebada y control podría ser consecuencia de un menor consumo de concentrado (-1,02 kg/vaca/día respecto a maíz) (y por lo tanto de energía) y de los mayores niveles circulantes de insulina observados en las vacas alimentadas con cebada, ya que ambas variables correlacionaron negativamente (Gagliostro y Lavandera, 1995a). El menor consumo de concentrado a base de cebada podría ser consecuencia de una menor palatabilidad como ha sido observado en dietas completas en mezcla (Casper y Schingoethe, 1989; Casper y otros, 1990; McCarthy y otros, 1989). Se observó una importante disminución del contenido de GB (-6.1 g/kg) con la suplementación a base de cebada respecto al tratamiento control. Dicha disminución no resultó significativa en el tratamiento maíz (36% del consumo total de MS). Se han observado efectos nulos (DePeters y Taylor, 1985; Casper y Schingoethe, 1989; Weiss y otros, 1989; Grings y otros 1992; Gagliostro y otros, 1996b; Kloster y otros, 1994) y negativos (Herrera-Saldana y Huber, 1989; Casper y otros, 1990) de la suplementación con cebada sobre el tenor graso de la leche. Los efectos negativos han sido acompañados de una mayor proporción de propionato (Casper y otros, 1990) o de una menor relación acético/propiónico (Herrera-Saldana y Huber, 1989) aunque también se observaron incrementos en la proporción de ácido propiónico sin efecto negativo sobre el tenor graso (McCarthy y otros, 1989; Weiss y otros, 1989). El ácido propiónico aumenta la gluconeogénesis hepática y estimula la producción de insulina lo que induciría una competencia entre los tejidos adiposo y mamario por los precursores lipogénicos (acetato, hidroxibutirato, triglicéridos y ácidos grasos libres). Dicha competencia explicaría la disminución

● *Figura 1. Efecto de la velocidad de digestión del almidón sobre el tenor graso de la leche.*



Fuente : *Sauvant y otros (1994) e INTA Balcarce*

● *Figura 2. Suplementación con granos de diferente capacidad by-pass del almidón en vacas en lactancia media (67 ± 20 días postparto) en otoño.*



Fuente : *Gagliostro y otros (1997)*

del tenor graso de la leche (Chilliard, 1987). Sin embargo, el ambiente metabólico observado en este ensayo (Lavandera y Gagliostro, 1995) y los estudios de metabolismo realizados (Gagliostro y Lavandera 1995ab) no sugirieron alteraciones en la repartición de nutrientes como consecuencia de la suplementación. En el presente ensayo, se observaron mayores niveles plasmáticos de insulina en el tratamiento cebada y una correlación negativa entre insulina y tenor graso de la leche ( $r = -0,374$ ).

Sobre un importante número de experiencias (Sauvant y otros, 1994) se ha podido poner en evidencia un efecto negativo de los almidones de rápida y alta digestión ruminal sobre el tenor graso de la leche cuando la densidad energética de la dieta es alta (altos niveles de suplementación) y genera bajos porcentajes de grasa butirosa (Figura 1). Ello significa que si el porcentaje de concentrado en la dieta es alto, el riesgo de reducir el tenor graso de la leche aumenta peligrosamente con los almidones de baja capacidad by-pass y alta utilización ruminal. Sin

embargo, cuando los parámetros de fermentación ruminal son normales (proporción de propionato entre 20 a 25%, relación acetato propionato 3,5 a 4,0) el tenor graso de la leche resulta poco sensible a variaciones en la velocidad e intensidad de degradación ruminal del almidón.

No hubo diferencias en la cantidad de grasa butirosa producida (g/día) ya que el menor tenor graso observado en las vacas suplementadas respecto a las no suplementadas fue compensado por una mayor producción de leche (Cuadro 4). Puesto que la cantidad de leche producida fue mayor en maíz y la concentración de proteína permaneció constante, puede concluirse que la síntesis de proteína fue estimulada por la suplementación a base de maíz. No suelen observarse diferencias en el tenor proteico de la leche de vacas suplementadas con CE respecto a MA (DePeters y Taylor, 1985; Herrera-Saldana y Huber, 1989; Mc Carthy y otros, 1989; Weiss y otros, 1989; Casper y otros, 1990; Grings y otros 1992; Gagliostro y otros, 1996b; Kloster y otros, 1994). La producción de proteína (g/día) fue mayor en MA respecto a los otros dos tratamientos debido a la mayor cantidad de leche producida. Los resultados de este ensayo permiten concluir que sólo la suplementación a base de maíz tuvo efectos positivos sobre la producción de leche, la cantidad de proteína y de lactosa secretadas y la ganancia de peso respecto a un tratamiento sin suplementación. La importante disminución del tenor graso de la leche en el tratamiento con cebada es un factor a tener en cuenta en la formulación de concentrados con alto contenido de almidón degradable en rumen. La comparación entre cebada y maíz sugiere que la utilización de almidones de mayor velocidad e intensidad de degradación ruminal no necesariamente conduce a aumentos de producción de leche y de sus contenidos.

En el ensayo de otoño, la base forrajera fue un verdeo de avena ( $2055 \pm 160$  kg MS/ha) con una asignación de  $33,8 \pm 3,2$  kg MS/vaca/día. El tenor de MS del verdeo fue de  $165 \pm 18$  g/kg, el de proteína fue de  $190 \pm 1$  g/kg MS, el de pared celular (FDN) fue de  $447 \pm 43$  g/kg MS y la digestibilidad de la MS fue de  $72,7 \pm 0,3$  %. Las vacas se encontraban en lactancia media ( $67 \pm 20$  días postparto) y los resultados se presentan en la figura 2.

La suplementación aumentó la producción de leche respecto al tratamiento control y al igual que en los casos anteriores no se detectaron diferencias entre cebada y maíz. El aumento de producción de leche podría ser consecuencia del mayor tenor de lactosa observado y de un mayor consumo de energía ya que no hubo disminución en el consumo de verdeo de avena. La suplementación a base de maíz y de cebada tuvo efectos positivos sobre la producción de leche, la cantidad de grasa butirosa, de proteína y de lactosa secretadas y la recuperación de reservas cor-

- **Cuadro 5. Producción y composición de leche en vacas en lactancia media (170 ± 22 días postparto) que consumieron silaje de grano de maíz húmedo (MHu, 6,4 kg MS/vaca/día) y grano de maíz seco (MSe, 5,6 kg MS/vaca/día).**

	MHu	MSe	p<
Leche (l/día)	17,6	17,2	0,61
Grasa butirosa (%)	3,29	3,13	0,21
Proteína (%)	3,39	3,3	0,08
Lactosa (%)	4,57	4,57	0,97
Sólidos Totales (%)	11,96	11,68	0,12
Sólidos no grasos (%)	8,67	8,56	0,32
Ganancia de peso (kg/vaca/día)	1,44	1,43	0,97
Consumo de forraje (kg MS/día)	14,5	14,6	0,94
Consumo Total (kg MS/día)	20,9	20,2	0,68
NH3 ruminal (mg/dl)	12,87	19,09	0,005

Los niveles de suplementación fueron de 9 kg de MH (74 % de materia seca) y de 6,8 kg de Mse (85,9 % de materia seca).

Fuente : Alvarez y otros, 1995.

- **Cuadro 6. Efectos promedio de la utilización de granos de diferente velocidad de degradación y utilización ruminal sobre variables productivas en vacas lecheras.**

	Lento Baja - Rápido Alta	P<
Producción de leche (kg/día)	-0,27 (±1,9)	0,76
Grasa butirosa (g/kg)	0,5 (±1,3)	0,41
Proteína (g/kg)	0,1 (±0,6)	0,83
Lactosa (g/kg)	-0,3 (+0,8)	0,38
Grasa butirosa (g/vaca/día)	-6 (+76)	0,85
Proteína (g/vaca/día)	-14 (+73)	0,69

Fuente: Gagliostro (EEA Balcarce).

porales (GPV) pero la comparación entre almidones de lenta y baja degradación respecto a rápida y alta degradación ruminal confirma ausencia de diferencias en los parámetros productivos de las vacas.

Los resultados obtenidos utilizando grano de maíz húmedo (como fuente de almidón degradable en rumen) y grano de maíz seco se presentan en el Cuadro 5 (Alvarez y otros, 1995). La base forrajera estuvo constituida por un verdeo de raigrás (cv Grassland Tama) y avena y el ensayo fue conducido al final del invierno (meses de agosto y septiembre). No se observó ninguna diferencia estadísticamente significativa en las variables productivas analizadas. El aumento en el tenor proteico de la leche fue extremadamente débil (0,9 g/litro de leche) sin ningún efecto sobre la cantidad de proteína secretada. Al igual que el grano de cebada, el grano de maíz húmedo conservado bajo la forma de silaje resultó altamente eficaz a los fines de reducir las concentraciones de NH3 en rumen lo que podría indicar un aumento en la síntesis de proteína microbiana capaz de explicar la tendencia observada en el tenor proteico de la leche (Alvarez y otros, 1995).

En este ensayo y utilizando los datos de los autores (Alvarez y otros, 1995), puede calcularse que la conservación del maíz bajo la forma ensilada y húmeda significó una importante pérdida de almidón respecto al grano seco del orden de 111 kg de almidón cada 1000 kg de MS. Dicha pérdida implicaría una disminución del orden de 5,6 % en el tenor de energía neta de lactancia o de 0,11 kg de leche por cada kg de MS de maíz húmedo.

Los resultados obtenidos en la Estación Experimental del INTA de Balcarce y se resumen en el Cuadro 6. En dicho cuadro se analizan estadísticamente las diferencias de las variables productivas entre los almidones de lenta y baja degradabilidad (maíz) y los de rápida y alta degradabilidad ruminal (cebada y grano de maíz húmedo). Razonando sobre los valores promedio obtenidos a partir de las cinco experiencias analizadas, no se observa ningún efecto significativo del tipo de almidón sobre la producción de leche o de sus componentes en vacas lecheras en condiciones de pastoreo.

El efecto del procesamiento del grano de maíz (molido vs copos) sobre la respuesta productiva de vacas en lactancia media fue estudiado en INTA Balcarce (Bargo, Pieroni y Rearte, datos no publicados). El trabajo fue conducido durante los meses de marzo, abril y mayo sobre pasturas base alfalfa y pasto ovillo y un aporte adicional de silaje de maíz (2,5 kg MS/vaca/día). El comportamiento digestivo a nivel ruminal fue evaluado mediante vacas provistas de fistula. Los resultados se presentan en el Cuadro 12.

Pese al importante efecto del procesado sobre los parámetros de digestión de la MS del grano de maíz y pese a la reducción significativa de los niveles ruminales de amonio, se observa un efecto nulo sobre la cantidad o la calidad de la leche producida. Similares

- **Cuadro 7. Suplementación con grano de maíz en copos a vacas lecheras en pastoreo.**

	Maíz molido	Maíz copos
Concentrado (kg/vaca/d) (1)	6,18	6,64
Digestión ruminal de MS		
Fracción soluble (%)	1,33a	20,63b
Tasa de digestión (%/h)	4,65a	7,43b
Degradabilidad efectiva (%)	46,87a	69,96b
NH3 (mg/dl)	19,09a	13,81b
pH	5,71	5,63
Leche (kg/vaca/día)	20,17	20,95a
Grasa (kg/vaca/día)	0,786	0,777
Proteína (kg/vaca/día)	0,627	0,649
Grasa (g/kg)	39,0	37,1
Proteína (g/kg)	31,1	31,0
Lactosa (g/kg)	47,6	48,7

(1) 75% maíz y 25% harina de girasol

Fuente : Bargo, Pieroni y Rearte, 1998 (no publicado).

conclusiones pueden extraerse ante el mismo tipo de procesado aplicado al grano de sorgo (Cuadro 8).

● *Cuadro 8. Suplementación con grano de sorgo en copos a vacas lecheras en pastoreo.*

	Sorgo molido	Sorgo copos
Sorgo (kg/v/d)	4,2	4,3
Harina de girasol (kg/v/d)	1,7	1,7
Pastura (kg MS/v/d) (1)	13,2	13,2
NH <sub>3</sub> en rumen (mg/dl)	26,59a	20,63b
Leche (kg/vaca/día)	20,22	20,80
Grasa (kg/vaca/día)	0,676	0,676
Proteína (kg/vaca/día)	0,640	0,664
Grasa (g/kg)	33,5	32,3
Proteína (g/kg)	31,7	32,1
Lactosa (g/kg)	47,2	48,2

(1) Base alfalfa y pasto ovillo.

Fuente: Gagliostro (EEA Balcarce).

Los resultados obtenidos utilizando silajes de grano húmedo de maíz (MHu) y de sorgo (SHu) (como fuente de almidón degradable en rumen) versus grano de sorgo seco (SSe) se presentan en el Cuadro 14 (Romero y otros, 1997a). La base forrajera estuvo constituida por una pastura de alfalfa en un sistema rotativo de franjas diarias con una oferta de 16 kg de MS/vaca/día. Los valores de calidad de la pastura fueron MS = 22,7% ; PB = 22% ; FDN (48,6%).

● *Cuadro 9. Producción y composición de leche en vacas en lactancia temprana (94 ± 8 días postparto) que consumieron silaje de grano de maíz húmedo (MHu), de sorgo húmedo (SHu) y granos de sorgo seco (SSe) sobre pasturas de alfalfa (octubre a diciembre).*

	MHu	SHu	SSe
Datos de los silajes			
MS (%)	76,7	60,2	89,4
PB (%)	10,3	13,4	8,6
pH	5,3	4,5	-
NH <sub>3</sub> /Ntotal (%)	1,04	5,86	-
Consumo pastura (kg MS)	9,1	9,1	9,0
Consumo de grano (kg MS)	7,0	7,6	7,6
Leche (litros/vaca/día)	19,7	18,9	19,9
GB (%)	3,26	3,26	3,14
PB (%)	2,80	2,77	2,81
Proteína Verdadera (%)	2,60	2,56	2,62
Caseína (%)	2,12	2,11	2,14

Fuente : Romero y otros, 1997a.

Dada la ausencia de diferencias significativas entre tratamientos para todas las variables en estudio, los autores concluyen que la suplementación isoenergética con granos húmedos produjo la misma respuesta en producción y composición química de la leche que la utilización de

grano de sorgo seco cuando la dieta base fue una pastura de alfalfa.

Utilizando silaje de grano de sorgo húmedo, Castillo y otros (1997) analizaron la desaparición de la materia seca en sorgos con bajo y con alto contenido de tanino con y sin el agregado de urea (1,5% base húmeda). Los resultados se presentan en el Cuadro 15. Se destaca la elevada degradabilidad efectiva de la MS en el material SBT y su alta velocidad de digestión. En el sorgo con alto tanino, el agregado de urea habría producido una hidrólisis del 60% del tanino contenido en el grano de sorgo (Romero y otros, 1997b). Ello podría explicar la menor fracción degradable y degradabilidad efectiva de la MS en el material SATur.

Pese a las importantes diferencias detectadas en cuanto a los parámetros de cinética de digestión de la MS y de la PB (Cuadro 10) inducidas por el contenido de tanino del sorgo ensilado como grano húmedo o el agregado de urea, la producción de leche corregida al 4% de grasa fue sólo ligeramente modificada (-6,9%) sin cambios de importancia en la composición química de la misma (Cuadro 11).

La Figura 10 resume el efecto de la velocidad de digestión de los almidones sobre la producción de leche en un rango más extendido de potencial genético de producción (16-40 kg de leche /vaca/día) (Sauvant y Van Milgen 1995). Se incluyen además los datos obtenidos en la EEA Balcarce.

La ubicación sistemática de los puntos por encima de la bisectriz (Y=X) indica que el reemplazo de una fuente de almidón de alta y rápida degradación ruminal por otra de mayor capacidad *by-pass* y menor velocidad de degradación en rumen mejora significativamente la producción de leche. La magnitud promedio del efecto a favor de los almidones con mayor capacidad *by-pass* es de 1,25 kg/día (n=14, P<0,01) y se explicaría por un mayor consumo total de materia seca, ya que tal diferencia desaparece cuando la producción de leche es ajustada por el nivel de consumo de materia seca tomado como covariable (Sauvant y Van Milgen, 1995). Parecería ser que los animales suplementados con fuentes de almidón de rápida y alta degradabilidad ruminal consumen una menor cantidad de MS y que dicho efecto es observado tanto en vacas (Casper y Schingoethe, 1989; Casper y otros, 1990; McCarthy y otros, 1989; Sauvant y Van Milgen, 1995, Cuadro 8) como en novillos en engorde (Perry, 1995). Los efectos son más importantes en situaciones de alto nivel de suplementación y altas cantidades de almidón degradable en rumen (DeVisser, 1993). La utilización de altas cantidades de almidón degradable en rumen puede reducir la digestión ruminal de la fibra (FDN) del forraje y afectar negativamente el consumo (DeVisser, 1993). En esas condiciones, el efecto

● Cuadro 10. Parámetros de digestión de la materia seca (MS) y de la proteína (PB) en silajes de sorgo de grano húmedo. Sorgo Bajo Tanino (SBT) (Dekalb DA 47) (MS = 66,5% y PB = 10,65%). Sorgo Alto Tanino (SAT) (Dekalb DA 49) (MS = 64,3% y PB = 10,8%). SAT con urea (1,5%) (SATur) (Dekalb DA 49) (MS = 64,3% y PB = 11,9%).

Digestión de la MS	Fs(1) (%)	FD(2) (%)	V(3) %/hora	DE (4) (%)
SBT	61,8a	38,2a	11,3a	88,2a
SAT	32,6b	57,7b	6,5b	58,2 b
SATur	22,7c	53,2c	5,2b	49,7c

**Digestión de la PB**

SBT	78,6a	21,4a	9,7a	92,7a
SAT	62,4b	30,2b	3,0b	72,8b
SATur	57,3b	26,8b	5,1c	70,8b

(1) Fracción soluble - (2) Fracción degradable  
(3) Velocidad de digestión - (4) Degradabilidad efectiva.

Fuente: Castillo y otros, 1997.

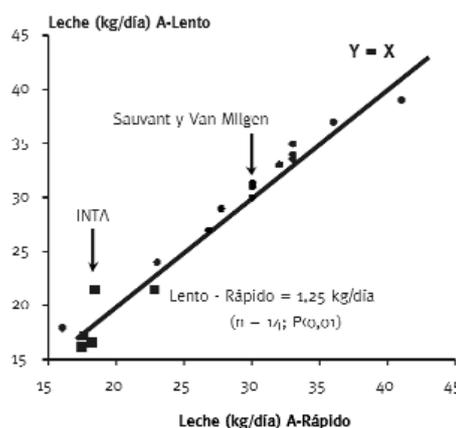
● Cuadro 11. Producción y composición química de la leche en vacas en lactancia media (129 ± 21 días posparto) suplementadas con silaje de grano húmedo de sorgo (5,5 kg/vaca/día). Dieta base (Materia seca): 7 kg de pastura de alfalfa, 4,5 kg de silaje de maíz, 1 kg de expeller de soja y 0,025 kg de fosfato dicálcico.

	SATur	SAT	SBT
LGC4% (1)	20,3b	20,2b	21,7a
Grasa butirosa (%)	3,42b	3,54ab	3,60a
Proteína bruta (%)	3,25	3,28	3,34
Proteína verdadera (%)	3,07	3,04	3,15
Caseína (%)	2,54	2,54	2,62

SAT con urea (1,5%) (SATur) (MS = 63,7% y PB = 14,1%)  
Sorgo Alto Tanino (SAT) (MS = 64,2% y PB = 8,4%)  
Sorgo Bajo Tanino (SBT) (MS = 58,8% y PB = 8,5%)

Fuente : Romero y otros, 1997b.

● Figura 3. Efecto del tipo de almidón sobre la producción de leche.



Fuente : Sauvant y Van Milgen ( 1995) y EEA INTA Balcarce.

puede corregirse utilizando cantidades crecientes de almidón no degradable en rumen o atenuarse mediante la mezcla de forraje y concentrado en dietas completas en mezcla (mixers).

Por último es importante comentar que parece existir una importante capacidad de absorción intestinal del almidón pero que la secreción amilásica intestinal sería insuficiente para hidrolizar un alto flujo de almidón bypass. Este hecho podría explicar la disminución de eficiencia de absorción ante importantes llegadas de almidón bypass al intestino delgado. En altos niveles de suplementación, las pérdidas fecales de almidón inducen una menor digestibilidad total de la materia orgánica de la dieta (dMO = 0,11 ADR + 61,4, n=66 ; R= 0,98 ; dsr = 2,2 ; Sauvant, 1997) (ADR = almidón degradable en rumen). En concordancia con ésta observación, los valores de energía

calculados en bovinos para carne resultan menores para granos de sorgo y maíz que para granos de mayor degradabilidad ruminal del almidón (Owens y otros, 1997).

**Conclusiones**

Los hidratos de carbono no estructurales como el almidón son compuestos de gran importancia en la nutrición de la vaca lechera. La utilización de almidones con mayor degradabilidad ruminal no conduce a aumentos significativos en la producción de leche o cambios económicamente deseables en el tenor de grasa o proteico de la misma aún en situaciones de exceso de NH<sub>3</sub> a nivel de rumen.

Si los requerimientos de carbohidratos no estructurales a nivel de rumen están cubiertos, existen evi-

dencias metabólicas y bioquímicas para sugerir una mayor eficiencia de utilización de la glucosa para producción de leche cuando la misma es aportada bajo la forma de almidón no degradable o *by-pass*. Parecería existir un requerimiento mínimo de glucosa preformada para maximizar la eficiencia de utilización de la energía para producción que parece situarse en alrededor de 1 kg de glucosa a nivel intestinal.

No se detectaron efectos netos entre ambos tipos de almidones en los ensayos realizados en el País lo que podría ser en parte consecuencia de los bajos niveles de producción de las vacas utilizadas. Las ventajas a favor de los almidones *by-pass* en términos de eficiencia metabólico-bioquímico se manifestarían en altas producciones de leche.

La posibilidad de reducir las concentraciones ruminales de  $\text{NH}_3$  y los niveles plasmáticos de urea circulante con la utilización de concentrados a base de cebada (o de silaje de maíz húmedo) podría resultar importante en pastoreos de otoño invierno con alto contenido de proteína degradable en rumen. En esas condiciones, la proteosíntesis microbiana resulta mayor utilizando almidones de alta y rápida degradación ruminal (cebada, avena, trigo, grano de maíz bajo la forma de silaje). La magnitud de tal efecto se considera en 9,5 gramos de N microbiano/kg de materia orgánica digerida en el total del tracto digestivo lo que implica un importante aumento en la cantidad de proteína metabolizable de origen microbiano por Mcal de energía neta ingerida por la vaca. Este hecho debería traducirse en un aumento del tenor proteico de la leche.

Si la cantidad de almidón degradable en rumen supera el 25% de la MS consumida por la vaca, la proteosíntesis ruminal se vería afectada desapareciendo el citado efecto positivo. La suplementación energética con almidones de mayor degradabilidad ruminal constituye una herramienta nutricional para modular la relación Proteína/Grasa butirosa que se pretende actualmente maximizar. Aún en ausencia de un efecto positivo neto sobre el tenor proteico de la leche, el efecto negativo sobre el tenor graso mejoraría la citada relación.

Los almidones de menor degradabilidad ruminal otorgan una mayor seguridad contra fenómenos de acidosis subclínica en dietas diseñadas para entregar alta densidad energética por kg de MS. La absorción intestinal del almidón parecería ser alta pero la eficiencia con la cual dicho almidón es digerido parecería disminuir en la medida que aumenta la cantidad de almidón *by-pass* que llega a intestino delgado. Este hecho implica una disminución en el tenor energético de los granos (maíz, sorgo) en altos niveles de suplementación. La capacidad de absorción intestinal podría mejorarse incrementando la llegada de proteína verdadera al duodeno (microbiana o *by-pass*).

Los almidones de mayor degradabilidad ruminal parecen reducir el consumo total de MS. La capacidad de absorción total y el consumo de energía podría mejorarse a través de la utilización de mezclas de granos con propiedades digestivas diferentes (cebada-maíz, maíz seco-húmedo). ■

#### Bibliografía

- DePeters E.J. y Cant J.P. 1992. Nutritional factors affecting the nitrogen composition of milk : A review. *Journal of Dairy Science*, 75, 2043-2070.
- DeVisser H. 1993. Characterization of carbohydrates in concentrates for dairy cows. En : *Recent advances in animal nutrition*. PC Garnworthy, D.J.A. Cole (Eds). Nottingham University Press.
- Gagliostro, G.A. y Lavandera, S.E. 1995. Suplementación de vacas lecheras con concentrados a base de cereales de diferente degradabilidad ruminal de sus carbohidratos no estructurales. *Rev Arg Prod. Anim.* 15 (2)
- Gagliostro, G.A., Santini, F.J., Lavandera, S.E, Rearte, D.H. y García, S.C. 1995. Suplementación de vacas lecheras con concentrados a base de cereales de diferente degradabilidad ruminal de sus carbohidratos no estructurales 1. Producción y composición de la leche y ganancia de peso vivo. *Rev Arg Prod. Anim.* 15 (2) 501-503.
- Huntington G.B. 1997. Starch utilisation by ruminants : from basics to the bunk. *J. Anim. Sci.*, 75 852-867.
- Nocek, J.E. y Tamminga, S. 1991. Site of digestion of starch in the gastrointestinal tract of dairy cows and its effects on milk yield and composition. *J. Dairy Sci.* 74:3598-3629.
- Rearte, D.H. y Santini, F.J. 1989. Digestión ruminal y producción en animales en pastoreo. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 9 : 93-106.
- Santini, F.J. y Elizalde, J.C. 1993. Utilización de granos en la alimentación de rumiantes. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 13 (1) : 39-60.
- Sauvant, D. 1997. Conséquences digestives et zootechniques des variations de la vitesse de digestion de l'amidon chez les ruminants. *INRA Prod. Anim.* 10 (4), 287-300.

\* Lista completa de referencias disponible por demanda.