

# PROCESAMIENTO DE LOS GRANOS

L. Corona G. y G. D. Mendoza M. 2017. Engormix.com.  
Del libro "Alimentación de ganado bovino con dietas  
altas en grano" ISBN: 978-607-28-1031-0.  
[www.produccion-animal.com.ar](http://www.produccion-animal.com.ar)

Volver a: [Forrajes conservados: granos y semillas](#)

## INTRODUCCIÓN

Se han publicado varias revisiones sobre procesamiento de granos desde hace varios años (Hale, 1973; Theurer, 1986; Huntington, 1997; Owens et al., 1997; Rowe et al., 1999; Harmon y McLeod, 2001; Firkins et al., 2001; Owens y Zinn, 2005; Matsushima, 2006; Richards y Hicks, 2007; Zinn et al., 2011) y en este capítulo se presentan los aspectos más relevantes. La principal razón para procesar granos es para incrementar su valor nutricional. En el aspecto económico, del 75 al 80% de los gastos en un corral de engorda, son el costo del alimento, en donde los granos son el principal componente (60–80%) de las dietas de finalización para incrementar la densidad energética y mejorar el comportamiento productivo y la eficiencia de utilización del alimento (Richards y Hicks, 2007).

El procesamiento del grano es un punto clave en los actuales sistemas de alimentación para finalizar ganado en corral (Wagner et al., 2014). El valor alimenticio de los granos, está determinado por su contenido nutricional, características físicas y químicas que afectan su digestibilidad, aceptabilidad e interacciones asociativas en el proceso digestivo. Los métodos de procesamiento son seleccionados para lograr la mejor digestibilidad y aceptabilidad económica sin afectar negativamente el pH ruminal y causar problemas digestivos (Zinn et al., 2011).

Factores que afectan la utilización del almidón El almidón es la principal fuente de energía utilizada en dietas de rumiantes para promover altos niveles de producción. Por lo tanto, la utilización óptima del almidón es fundamental para hacer eficiente el proceso productivo. Las principales fuentes de almidón en las dietas son granos de cereales. La estructura, composición del almidón de los cereales y sus interacciones con proteínas son los principales factores que determinan su digestibilidad y valor alimenticio del grano para los animales (Rooney y Pflugfelder, 1986). La utilización del almidón puede ser mejorada considerablemente con un adecuado procesamiento del grano (Theurer, 1986) pero debe de seleccionarse el proceso de acuerdo al grano.

Existen diversos métodos de procesamiento disponibles para granos destinados al corral de engorda incluyendo el quebrado, molido, reconstituido, cosechado con alto contenido de humedad y ensilado (usado en Norteamérica), micronizado, reventado y hojueleado al vapor entre otros (Hale, 1973; Theurer, 1986; Owens et al., 1997; Zinn et al., 2011). Sin embargo, como resultado de numerosas interacciones que existen entre las técnicas de procesamiento de granos con distintos factores tales como el tipo de grano (Owens et al., 1997; Plascencia et al., 2002), nivel de consumo (Murphy et al., 1994), el nivel y fuente de forraje (Stock et al., 1990; Swingle, 1995), nivel de fcn forraje (Gorocica-Buenfil y Loerch, 2005), el tamaño de la partícula, el contenido de humedad (Mader y Rust, 2006), así como el grado de procesamiento, gelatinización del almidón (Franco et al., 2014) y la variedad del grano (Galyean et al., 1979; Turgeon et al., 1983; Ladely et al., 1995a; Plascencia et al., 2012), son difíciles las comparaciones realizadas en los estudios donde se evalúan métodos de procesamiento.

Otro aspecto importante es que los gránulos de almidón en el grano se encuentran encapsulados por una matriz proteica y por la naturaleza compacta del almidón, particularmente en la porción del endospermo duro, la penetración de las enzimas amilolíticas es restringida (McAllister et al., 1990a), por lo que la degradación de la matriz proteica es esencial para mejorar la digestión del almidón (DePeters et al., 2007). También se ha considerado que el incremento en la proporción de endospermo duro se asocia con una disminución en la degradación del almidón ruminal in situ e in vivo (Jaeger et al., 2004; Corona et al., 2006; Szasz et al., 2007)

## MÉTODOS Y GRADO DE PROCESAMIENTO

Hale (1973) señala que existen al menos 18 métodos de procesamiento de granos y algunos más con modificaciones. Hale y Theurer (1972) clasifican los métodos de procesamiento en secos y húmedos los cuales se presentan en el Cuadro 9.1. De todos esos los más comunes son el molido, quebrado, alto en humedad y hojueleado al vapor.

### MOLIDO

Es el método más común de procesamiento debido a que es el más económico y simple. Hay una gran variedad de equipos disponibles para controlar el tamaño de la partícula del producto terminado. El molino de martillos es uno de los equipos más utilizados en donde el tamaño de la partícula es controlado por cambio en la criba, sin embargo, el producto terminado genera más polvo durante la molienda que el molino de rodillos u otro tipo de

equipo. Existe una gran controversia sobre que si es mejor el molido o quebrado en pruebas de digestión y comportamiento, pero como ya se comentó, debido al tipo de grano, grado de procesamiento, especie, edad, nivel de consumo, nivel de fdn en la dieta etc., es difícil la comparaciones de las diferentes pruebas. Pero más adelante se analizan estudios donde directamente compararon diferentes métodos de procesamiento.

**Cuadro 9.1 Principales métodos de procesamiento de granos.**

Procesos en seco	Procesos en húmedo
Grano Entero	Remojado
Molido	Rolado al vapor
Rolado en seco o quebrado	Hojueleado al vapor
Reventado	Reconstituido
Extrudizado	Explotado
Micronizado	Cocinado a presión
Tostado	Coceado tempranamente
Peletizado	Ensilado de maíz
Termalizado	Ensilado de sorgo

## QUEBRADO

El proceso de quebrado o rolado consiste en pasar el grano a través de un juego de rodillos acanalados. El tamaño de partícula varía de grueso a fino influenciado por el peso de los rodillos, presión y espacio, contenido de humedad y velocidad de flujo del grano. Desde hace varios años se conoce que el grano de maíz debe ser procesado para una máxima digestión (Moe y Tyrrell, 1976). Las partículas que son largas e hidrofóbicas resistirán el ataque microbiano en el rumen y al ataque enzimático en los intestinos.

El grano puede ser molido o rolado para reducir el tamaño de partícula medio. Comparado con grano rolado, el grano molido, típicamente tiene mayor rango en el tamaño de partícula debido a los finos generados durante el molido. El uso de diámetro de media geométrica (gdm) solo, aunque de utilidad es un indicador incompleto de procesamiento. Baker y Herman (2002) describen componentes adicionales (área de la superficie: partículas por gramo) que pueden ser calculadas a través del grano procesado cernido. La presencia de finos y gmd son también alterados por el contenido de humedad e híbridos del grano procesados, con humedad y mayor endospermo víteo, el grano genera menos finos y partículas con mayor gmd. Con grano de maíz entero, menos de una tercera parte del almidón que entra al abomaso desaparece a nivel postruminal. Observaciones de campo en donde dietas compuestas por maíz entero descascarado, cuando se ofrece a novillos con dietas bajas en forraje para que el grano sea retenido en el rumen para ser rumiado y fermentado, a menudo se observa una mejor eficiencia alimenticia en comparación a dietas de maíz rolado que de manera general son ofrecidas con un nivel mayor de forraje. Aunque la adición de forraje usualmente acorta el tiempo en que las partículas son retenidas para la fermentación dentro del rumen, el grado de separación ruminal de las partículas de forraje del grano entero puede ser importante, los granos separados en el rumen no serán rumiados; el grano de maíz entero intacto no será digerido en ningún sitio (Owens y Zinn, 2005).

## ALTO EN HUMEDAD

Se denomina así al grano cosechado con un alto contenido de humedad (20–35%) y almacenado en un silo para preservar el grano (proceso común en otros Norteamérica y poco usado en México). Puede ser molido o quebrado antes de ensilarlo o después para ofrecerlo a los animales. El costo de almacenamiento puede ser relativamente alto pero se obtienen buenos resultados (Kellems y Church, 2003). Dos factores son críticos para maximizar la eficiencia alimenticia y digestión ruminal del maíz alto en humedad, el contenido de humedad (debe ser de 26 a 31%) y una duración suficiente de fermentación.

Por razones que pueden asociarse a la rápida tasa de degradación del almidón (Stock et al., 1991; Mendoza et al., 1998), el grano alto en humedad entre 20 a 24% de humedad resulta en una pobre eficiencia alimenticia en comparación a grano quebrado seco o grano húmedo (presumiblemente causa acidosis subaguda en mayor frecuencia). La respuesta a el nivel de humedad y almacenaje ha sido previamente revisado (Owens et al., 1986) y demostrado en estudios in vivo (Jaeger et al., 2004) e in situ (Benton et al., 2004). Los resultados de Benton et al. (2004) indican que la desaparición in situ del almidón en el rumen de maíz alto en humedad se incrementó rápido durante el primer mes de almacenaje y continuo incrementándose en forma importante durante los siguientes nueve meses. Se han observado cambios en la desaparición de almidón con incremento en la solubilidad de N con el tiempo de fermentación en maíz alto en humedad. Aplicando este principio, el maíz alto en humedad más húme-

do, que típicamente es el primero en cosechar, debe ser utilizado primero que maíz alto en humedad más seco. El maíz cosechado al último, debe permitirse que fermente por un periodo de tiempo más largo. Esto es precisamente opuesto al sistema usado en la mayoría de los silos verticales o búnker. Por lo que un incremento en la tasa y grado de fermentación ruminal de maíz alto en humedad almacenado por muchos meses puede poner en riesgo de acidosis al ganado aunque la composición de la dieta no haya sido alterada.

Un proceso similar es el grano reconstituido que constituye en adicionar agua al grano y dejarse fermentar en ensilaje, lo cual muestra resultados similares al grano cosechado a un contenido de humedad dado, con mayor digestibilidad del almidón en relación al quebrado seco. El incremento en la digestibilidad parece estar relacionado con la solubilidad de la proteína del maíz que está encapsulando o ligado a los gránulos de almidón. El tipo y actividad de bacterias presentes inherentemente al cultivo o adicionadas como un inoculo podrían también influenciar la digestibilidad del almidón (Owens y Zinn, 2005).

## HOJUELEADO AL VAPOR

En este proceso el grano es cocinado al vapor bajo presión atmosférica por 10–30 min. Para incrementar el contenido de humedad de 18 a 20% y entonces es pasado a través de rodillos corrugados para producir hojuelas delgadas. El hojueado al vapor de los granos de cereales ha sido utilizado en ganado de engorda desde los años sesentas (Matsushima, 2006) y el grado de gelatinización y desnaturalización de la proteína en el grano hojueado varía con las condiciones de procesamiento.

Cinco factores de producción críticos afectan la calidad del hojueado: la temperatura de la cámara de vapor, el tiempo de cocimiento, la corrugación, el hueco y la tensión de los rodillos. El grosor de la hojuela y densidad (peso bushel) son utilizados como índices de control de calidad en donde la disponibilidad de almidón (glucosa liberada durante la exposición a las enzimas amilolíticas) a menudo es medida en un laboratorio después de que el grano es ofrecido a los animales. La digestión del almidón en el tracto total para novillos excedió 95% cuando la densidad de la hojuela estuvo por debajo de 38 libras por bushel. Se recomienda que el procesamiento no exceda a través de la gelatinización más del 50% máxima de la digestibilidad del almidón pues se puede deprimir el consumo de alimento (acidosis subaguda) particularmente al inicio de la engorda y en animales de talla pequeña.

Zinn (1990) demostró que cuando maíz fue cocinado a un tiempo constante (34 min. a 105 °C), el incremento en la presión de los rodillos produjo hojuelas con densidades de 0.41, 0.36 y 0.31 kg/L (32, 28 y 24 lb/bushel, respectivamente) y el grado de digestión del almidón se incrementó linealmente en el rumen y tracto total. La densidad de la hojuela debe ser ajustada para lograr una digestión de almidón de 99% (típicamente menos de 4% de almidón fecal). Zinn et al. (2000) señalan que es importante que los rodillos se encuentren bien calientes y también los granos cuando se hojuelan, que la cámara de vapor debe ser diseñada para un tiempo de cocimiento de al menos 30 min a la capacidad máxima para producir hojuelas de 0.31 kg/L (24 lb/bushel); un 5% de captación de humedad durante el cocimiento parece adecuado.

## EXTRUDIZADO

El proceso de extrusión involucra altas temperatura en corto tiempo, en donde los materiales son expuestos a una combinación de alto grado de corte, temperatura y presión, dependiendo de los parámetros del proceso. Los cambios que ocurren son gelatinización del almidón, desnaturalización de la proteína, destrucción de componentes anti-nutricionales. Los principales factores pueden afectar la gelatinización del almidón son el contenido de humedad y la temperatura (Shabi et al., 1999; Guy, 2001; Al-Rabadi, 2011).

## RELACIÓN DEL CEREAL CON PROCESAMIENTO DEL GRANO

Se sabe que los diferentes granos responden de manera diferente a los métodos de procesamiento. El trigo y la cebada se benefician poco del procesamiento, en cambio sorgo y maíz requieren mayor procesamiento. Esto se debe a que la tasa de degradación del almidón de los primeros es muy rápida por lo que no es necesario procesarlos, mientras que en granos como el sorgo o el maíz, el procesado incrementa su tasa de digestión lo que incrementa su valor energético.

Parte de la respuesta se debe a que los gránulos de almidón están embebidos en una matriz proteica, la cual es más densa en el endospermo corneo periférico del sorgo y maíz, por lo que la penetración de las enzimas amilolíticas es restringida (McAllister et al., 1990b). Además el tipo de proteína de cada cereal es diferente, en el trigo la matriz proteica consiste en mayor medida de glutelinas, que son solubles en ácidos y bases débiles y son rápidamente degradadas en el rumen, por lo que el grado de digestión del almidón del trigo es alta (>80%) y no es incrementada por el hojueado al vapor (Zinn, 1994). En contraste la matriz proteica que rodea a los gránulos de almidón del maíz está compuesta principalmente de la prolamina y zeína (alfa, beta, gama y delta) que son insolubles en el rumen, por lo que las zeínas son fermentadas lentamente en el rumen (nrc, 1985). La proteína del maíz y sorgo se ha demostrado que es más resistente al ataque y penetración bacteriana que la del trigo y cebada (McAllister et al., 1994).

El desdoblamiento de la matriz proteica es importante para optimizar la digestión del almidón. El tratamiento con una enzima proteolítica (pronasa) del sorgo mejoró la tasa de hidrólisis del almidón (Lichtenwalner et al., 1978; Krotaski et al., 1992) y esto fue debido a que las enzimas que degradan almidón fueron más efectivas una vez que la matriz proteica estaba degradada. La digestión de almidón de maíz y cebada purificado es similar (McAllister et al., 1993) aunque el grano de cebada es más degradado que el maíz. Sin embargo, en otros estudios el almidón purificado de sorgo tuvo menor digestión que el del maíz (Wester, 1989) por lo que no se puede ser conclusivo sobre la estructura intrínseca del almidón. En almidón normal (25% amilosa y 75% amilopectina) aislado de varios granos (maíz, sorgo y trigo), la digestibilidad in vitro con amilasas pancreática o bacteriana fue similar (Banks y Greenwood, 1975; Moran, 1982). Estos resultados sugieren que la matriz proteica que está envolviendo los gránulos de almidón, es un factor importante en la tasa y grado de digestión del almidón. Los estudios donde la adición de amilasas exógenas demuestran que se incrementa la tasa de digestión lo que demuestran que la estructura del almidón también juega un papel en esta respuesta a los procesos (Rojo et al., 2007).

Owen y Zinn (2005) resumen el efecto de los principales métodos de procesamiento de diferentes granos en el sitio y grado de digestión en ganado de engorda (Cuadro 9.2). Se puede notar que los factores físicos y químicos pueden limitar la digestión y que el impacto sobre componentes específicos del grano que limitan la digestión, difieren con el método de procesamiento. Además, los componentes que limitan la digestión pueden ser alterados por factores genéticos o ambientales que alteren las características inherentes del grano.

Rowe et al. (1999) resumieron la respuesta específica de los diferentes tipos de procesamiento sobre los componentes del grano que pueden limitar el sitio y grado de digestión (Cuadro 9.3).

Como se ha comentado, diferentes granos se utilizan en la alimentación de bovinos en corral. En México, los principales cereales utilizados en la alimentación animal, son el sorgo (47%), el maíz amarillo (35.90%) y el maíz blanco (14.89%). Por lo cual se explican más los efectos del procesamiento de sorgo y maíz en el comportamiento productivo de bovinos.

**Cuadro 9.2** Efecto del método de proceso y tipo de grano en la digestión del almidón.

Métodos de procesamiento <sup>1</sup>	RS	AH	HV	E
<b>Maíz</b>				
Desaparición ruminal %	60.6 <sup>d</sup>	91.0 <sup>a</sup>	84.2 <sup>b</sup>	74.3 <sup>c</sup>
Desaparición en el intestino delgado % flujo	49.8 <sup>b</sup>		88.4 <sup>a</sup>	
Desaparición tracto total %	89.3 <sup>b</sup>	99.2 <sup>a</sup>	99.1 <sup>a</sup>	83.6 <sup>c</sup>
<b>Sorgo</b>				
Desaparición ruminal %	66.8 <sup>b</sup>		84.9 <sup>a</sup>	
Desaparición en el intestino delgado % flujo	85.0 <sup>b</sup>		81.3 <sup>a</sup>	
Desaparición tracto total %	96.5 <sup>b</sup>		98.8 <sup>a</sup>	
<b>Trigo</b>				
Desaparición ruminal %	86.0 <sup>a</sup>		91.6 <sup>a</sup>	
Desaparición tracto total % dieta	97.9 <sup>a</sup>		98.8 <sup>a</sup>	

<sup>1</sup> Métodos de procesamiento: **RS**=Rolado en seco, **AH**=Alto en humedad, **HV**=Hojueado al vapor, **E**=Entero.

Fuente: adaptado de Owens y Zinn (2005).

**Cuadro 9.3** Impacto de la técnica de procesamiento sobre el grano y su digestión.

Procesamiento/ Tratamiento del Grano	Desdoblamiento del pericarpio o exposición del endospermo	Reducción del tamaño de partícula	Desdoblamiento de la matriz del endospermo	Desdoblamiento de los gránulos de almidón	Incremento de la tasa de fermentación	Incremento en la digestión intestinal
Rolado en seco	+++	+	-	-	++	+
Molido	+++	+++	-	-	++	+
Hojueado al vapor	+++	++	+	+	+++	++
Extrusión	+++	-	++	+	++	++
Peletizado	+++	-	+	?	+	++
Ensilado	+		++	-	++	+
Micronizado	+	+	?	?	?	++
Reventado	++	-	+	+++	?	+++
Proteasas	-	-	?	?	++	?

## PROCESAMIENTO DEL SORGO Y COMPORTAMIENTO DE BOVINOS EN FINALIZACIÓN

El grano de sorgo tiene la menor tasa de digestión ruminal, lo cual es importante dado que en relación al maíz el valor energético es de sólo el 85%, y cuando se procesa se puede incrementar su valor a un 95% del maíz, sin llegar a tener problemas de acidosis. Hay que tener en cuenta que el almidón del sorgo es el de menor digestibilidad entre los granos; además, con el procesamiento se obtienen varios efectos benéficos tales como la ruptura del grano, lo que incrementa la superficie y la tasa de digestión.

Dentro de los procesos utilizados para el grano de sorgo están el molido, el rolado, la combinación de rolado con vapor, el tratamiento con vapor y hojueleado, la reconstitución (en términos de humedad), el cultivo del grano con alto contenido de humedad, la adición de ácidos, el micronizado, la adición de enzimas amilolíticas y otros.

Durante el rolado y el molido se rompe la cáscara de la semilla, se reduce el tamaño de partícula y se incrementa la superficie de área de digestión; esto aumenta la tasa de digestión del almidón, lo cual mejora el valor energético del grano. En el Cuadro 9.4 se muestran los resultados con 220 novillos en cinco experimentos conducidos en la Universidad de Kansas (Stock y Mader, 1974). Los datos de diez experimentos muestran que el molido fino resulta en una mejora de 5% comparado con el molido grueso.

**Cuadro 9.4.** Efecto del procesamiento del grano de sorgo en el comportamiento de bovinos.

	Rolado	Rolado molido	% de mejora
Consumo ms, kg/d	10.59	11.03	-4.0
GDP, kg	1.510	1.556	+3.0
Conversión	7.60	7.06	+7.1

MS=Materia seca; GDP=ganancia diaria de peso.

Fuente: Stock y Mader (1974).

Es importante mencionar que los resultados de moler sorgo finamente son confusos, ya que en algunos trabajos el sorgo finamente molido es más eficiente que el molido grueso, mientras que en otros no hay respuesta. Esta controversia se puede deber a diferencias en la tasa de digestión del almidón del sorgo (Streeter et al., 1991; Wester et al., 1992), grado de procesamiento, nivel de forraje, entre otros.

El rolado del sorgo con vapor, parece tener poca ventaja sobre el rolado seco (Cuadro 9.5). El rolado con vapor produce un producto que tiene una forma física que aparentemente mejora la palatabilidad del grano. El uso de presión atmosférica en sorgo hojueleado, mejora la ganancia en un 7.8% y la eficiencia en un 11.6% sobre un testigo de sorgo seco rolado (Cuadro 9.6).

**Cuadro 9.5** Resumen y comparación de métodos para procesar el grano de sorgo.

Proceso	Testigo	Cambios (%) en relación al testigo		
		Ganancia	Consumo	Conversión
Peletizado	Rolado	+5	-8	+7
Molido fino	Seco rolado	-1	-2	+1
Molido fino	Molido grueso	+1	-6	+5
Rolado fino	Rolado	-4	-3	0
Rolado-vapor	Seco rolado	-2	0	-2
Peletizado	Molido	+4	-6	+9

Fuente: Stock y Mader (1974).

**Cuadro 9.6.** Comparación de sistemas de procesamiento de grano de sorgo.

Método de procesamiento	Seco rolado	Hojueleado	Reconstituido
GDP, kg	2.56	2.76	2.75
Consumo de ms, kg/d	16.80	16.00	15.70
Conversión	6.57	5.80	5.67
Mejora de eficiencia, %		11.60	13.70
Mejora de ganancia, %		15.70	17.60

GDP=Ganancia diaria de peso; MS=materia seca.

Fuente: Stock y Mader (1974).

La respuesta al tratamiento con vapor es extremadamente variable debido a diferencia en el tiempo de tratamiento, temperatura, humedad y presión del rolado entre otros. En general, los mejores resultados se obtienen cuando las hojuelas son planas y cuando el grano se expone a una presión de 45 a 60 libras por pulgada cuadrada durante 1.5 minutos. Los tratamientos con vapor gelatinizan el almidón lo cual da lugar a un grano de mayor digestibilidad y mayor contenido energético.

Existen algunos procesos que no han sido evaluados en México; sin embargo, podrían ser considerados basándose en análisis económicos y biológicos. Resultados obtenidos en la Universidad de Oklahoma muestran que la cosecha del grano con alto contenido de humedad y el sorgo reconstituido mejora la eficiencia alimenticia de 9 a 20% comparado con el sorgo seco, sin afectar la ganancia de peso (Cuadro 9.7). Los cambios químicos que ocurren durante la reconstitución son similares a aquellos que ocurren durante la germinación.

Con respecto al grano con más de 24% de humedad, ésta se puede ensilar bien y produce un buen alimento para el ganado (Teter y Thompson, 2014). Para obtener un producto aceptable se recomienda una humedad entre el 24 y 30% (Cuadro 9.8) a una temperatura de 15 a 32 °C, condiciones anaeróbicas, pH de 4.1 a 4.2 y se recomienda moler el grano para promover una mejor compactación y fermentación.

**Cuadro 9.7 Efecto del grano de sorgo cultivado con alto contenido de humedad o reconstituido comparado con grano de sorgo molido.**

Procesamiento	Consumo, kg	GDP, kg	CMS/GDP	% Mejora
Seco finamente molido	6.8	1.088	6.3	-
Reconstituido molido	6.0	1.04	5.8	8.5
Reconstituido rolado	6.4	1.22	5.3	16.8
CACH rolado	5.3	0.99	5.4	14.8
CACH rolado	6.1	1.17	5.2	18.3

**GDP**=Ganancia diaria de peso; **CMS**=consumo de materia seca;  
**CACH**=cultivado con alto contenido de humedad.

Fuente: Stock y Mader (1974).

Owens et al. (1997) resumen los efectos en la conversión alimenticia en ganado engordado en corral alimentados con grano sorgo procesado por diferentes métodos (Cuadro 9.9). Se observa que la mejor conversión alimenticia es con grano de sorgo rolado u hojueleado al vapor, sobre rolado en seco y alto en humedad, y de reconstituido sobre rolado en seco. La reconstitución de grano de sorgo ha mostrado mayor beneficio que con maíz.

**Cuadro 9.8 Efecto del nivel de humedad en el grano de sorgo reconstituido.**

Procesamiento	Consumo, kg	GDP, kg	CMS/GDP	% cambio
Seco molido (testigo)	6.91	1.134	6.1	
Reconstituido 22%	7.22	1.224	5.9	+4.0
Reconstituido 30%	6.42	1.088	5.4	+11.8
Reconstituido 38%	5.63	1.043	5.4	+12.1

**GDP**=Ganancia diaria de peso; **CMS**= consumo de materia seca.

Fuente: Stock y Mader (1991).

**Cuadro 9.9 Resumen de efectos en la conversión alimenticia del sorgo procesado en ganado de engorda.**

Métodos de procesamiento	Conversión alimenticia
Rolado en seco	7.43 <sup>a</sup> (54)
Alto en humedad	7.12 <sup>ab</sup> (14)
Rolado u hojueleado al vapor	6.33 <sup>c</sup> (45)
Entero	---
Reconstituido	6.75 <sup>bc</sup> (17)

El número entre paréntesis indica el número de pruebas evaluadas.

<sup>abc</sup> Medias dentro de una columna con diferente literal son diferentes (P< 0.05).

Fuente: Adaptado de Owens et al. (1997).

Owens et al. (1997) reportan una mejora de la eficiencia alimenticia y en 5.2% y 4% respectivamente, comparado con grano de sorgo alto en humedad. Defoor et al. (2006) concluyeron que la reconstitución del grano de sorgo representa una buena alternativa para sorgo ya que a diferencia del maíz, la reconstitución se puede realizar con agua fría y es rápida, la eficiencia alimenticia se mejora en 15% y ganancia de peso en 7.6% comparado con sorgo rolado en seco, pero se requiere confirmar estos datos con variedades de sorgo actuales. En estudios recientes con pruebas de metabolismo, sorgo quebrado reconstituido mejoró la digestión total del almidón comparado con sorgo entero reconstituido y quebrado en seco (González et al., 2010a). Rodríguez et al. (2010), encontraron que el germinar la semilla del sorgo por 6 días se incrementó la digestión total de mo, almidón, N y ed. En una prueba con ovinos con sorgo entero reconstituido se incrementó el consumo, ganancia y se mejoró la conversión alimenticia y peso de la canal en comparación con el grano entero seco (Orozco et al., 2008).

Ciertos ácidos orgánicos han demostrado que tienen propiedades inhibitorias del crecimiento de hongos en granos con alto contenido de humedad. Estos ácidos han sido usados en Inglaterra y en Europa desde 1970 y han sido probados extensamente en Canadá y Estados Unidos. El potencial de uso de dichos ácidos en México debe basarse en aspectos económicos.

En el Cuadro 9.10 se muestra los principales ingredientes usados para la conservación de los granos (Wilcox, 1973). Además de los procesos mencionados, debió a los productos derivados de la biotecnología en un futuro tendremos acceso a enzimas y probióticos que en cantidades pequeñas pueden ayudar a mejorar el valor energético de los granos.

**Cuadro 9.10** Preservativos usados para la conservación de granos.

Ácido propiónico	Efectivo; ampliamente probado; olor punzante. Las formas de propionato de calcio y de sodio son menos efectivos que la forma ácida
Ácido acético	Efectividad del 50% del ácido propiónico. Su eficacia se mejora al combinarse con ácido acético. Olor a vinagre, las sales de calcio y sodio no tienen efecto preservador
Ácido isobutírico	Buen preservador con olor punzante
Isobutirato de amonio	Menos efectivo que el ácido
Ácido fórmico	Efecto similar al del ácido acético. Los vapores y el líquido son cáusticos y peligrosos para los tejidos corporales. Los vapores no deben de ser inhalados
Ácido láctico	Necesita más pruebas experimentales antes de ser probado
Ácido sórbico	Es usado con el sorbato de potasio en pastelería para inhibir el crecimiento de hongos y levaduras
Ácido benzoico	Preservados de grasas y alimentos. No debe de usarse más del 0.1% del sustrato
Benzoato de sodio	Se necesitan más estudios para utilizarlo como conservador de granos

Fuente: Modificado de Wilcox (1973).

## PROCESAMIENTO DEL MAÍZ Y COMPORTAMIENTO DE BOVINOS EN FINALIZACIÓN

Zinn et al. (2011) revisaron el efecto de diferentes métodos de procesamiento con maíz grano en bovinos engordados en corral. Basándose en la ENm de maíz rolado en seco de 2.18 Mcal/kg (nrc, 2000) se estimaron para maíz entero valores de ENm y ENg de 2.11 y 1.44 Mcal/kg respectivamente (Cuadro 9.11). La alimentación con maíz entero tendió a disminuir la ganancia en 2.5% e incrementó el consumo en 3.2%. Los efectos comparativos de rolado o molido fino versus procesamiento grueso (Cuadro 9.12) sobre el comportamiento productivo y en del maíz son mínimos (<1% de cambio).

El comportamiento de ganado alimentado con maíz alto en humedad es muy variable. Estudios previos de Mader et al. (1974, 1991) y Utley et al. (1975) indican que el maíz alto en humedad incrementa la ganancia en 2.9% y el consumo en 3.2%. Sin embargo, el valor de en de maíz entero alto en humedad es similar o ligeramente menor que maíz procesado en seco, promediando 2.26 y 1.54 Mcal/kg respectivamente. El molido o rolado de maíz alto en humedad antes de ensilar incrementa su valor de en; sin embargo, este proceso también incrementa la probabilidad de deprimir la ganancia comparada con el ensilaje de maíz entero. Los efectos comparativos de maíz procesado alto en humedad vs. procesos convencionales en seco sobre el comportamiento y valor de energía se muestran en el Cuadro 9.13. Sustituyendo maíz alto en humedad por maíz procesado en seco no afecta la ganancia pero reduce el consumo en 6.6%, por lo que los valores de ENm y ENg para maíz alto en humedad son más gran-

des que el maíz procesado en seco, promediando 2.31 y 1.61 Mcal/kg respectivamente. Estos valores son consistentes con los sugeridos para maíz alto en humedad de alta densidad por el nrc (2000).

La sustitución de maíz hojueleado al vapor por maíz procesado en seco incrementa la ganancia en 6.3% y disminuye el consumo en 5%. Los valores comparativos de ENm y ENg de maíz hojueleado al vapor son 2.46 y 1.75 Mcal/ kg respectivamente (Cuadro 9.13). Estos valores son mayores (5.5%) que los tabulares del nrc (2000).

**Cuadro 9.11 Efecto comparativo de maíz seco entero versus procesos en seco (rolado grueso, quebrado) sobre la ganancia, consumo valor energético del maíz.**

Referencia	N	Cambio (%)			% Maíz	Sexo	Proceso
		GDP	CMS	ENm, Mcal/kg			
Corona <i>et al.</i> (2005)	5	-8.8	5.1	2.11	75.3	Novillo	Entero
Gorocica-Buenfil y Loerch (2005)	4	2.3	-1.1	2.24	79.8	Novillo	Entero descascarillado
Scott <i>et al.</i> (2003)	4	-1.0	5.7	1.99	62.5	Novillo	Entero
Promedio		-2.5	3.23	2.11			

CMS=Consumo de materia seca; GDP=ganancia diaria de peso.

**Cuadro 9.12 Efecto de molido o rolado fino versus procesos en seco (rolado grueso, quebrado) sobre la ganancia, consumo y valor energético del maíz.**

Referencia	N	Cambio (%)			% Maíz	Sexo	Proceso
		GDP	CMS	ENm, Mcal/kg			
Corona <i>et al.</i> (2005)	5	-3.7	-2.0	2.14	75.3	Novillo	Molido fino
Scott <i>et al.</i> (2003)	4	-1.6	-4.7	2.25	62.5	Novillo	Molido fino
Scott <i>et al.</i> (2003)	4	-1.1	0.0	2.15	62.5	Novillo	Molido fino
Loe <i>et al.</i> (2006)	6	3.9	4.9	2.11	42.0	Novillo	Rolado fino
Promedio		-0.6	-0.5	2.16			

CMS=Consumo de materia seca; GDP= ganancia diaria de peso.

**Cuadro 9.13 Efectos comparativos de maíz alto en humedad versus procesos en seco (rolado grueso, quebrado) sobre la ganancia, consumo y su valor de EN.**

Referencia	N	Cambio (%)			% Maíz	Sexo	Proceso, humedad
		GDP	CMS	ENm, Mcal/kg			
Huck <i>et al.</i> (1998)	5	-1.1	-3.8	2.27	74.5	Novillo	rolado, 35%
Ladely <i>et al.</i> (1995)	4	-4.0	-15.0	2.42	83.4	Vaquilla	molido, 28%
Ladely <i>et al.</i> (1995)	4	5.4	-4.4	2.35	83.2	Novillo	molido, 29%
Ladely <i>et al.</i> (1995)	4	0.0	-15.2	2.55	83.4	Vaquilla	molido, 28%
Ladely <i>et al.</i> (1995)	4	-3.7	-7.6	2.26	83.2	Novillo	molido, 29%
Ladely <i>et al.</i> (1995)	4	6.1	-6.5	2.41	83.2	Novillo	molido, 29%
Archibeque <i>et al.</i> (2006)	5	-5.8	-3.8	2.15	78.7	Novillo	molido, 35%
Stock <i>et al.</i> (1991)	5	0.7	-8.7	2.39	78.0	Novillo	molido, 25%
Stock <i>et al.</i> (1991)	3	-5.1	-0.30	2.09	80.0	Novillo	molido, 27%
Scott <i>et al.</i> (2003)	4	-2.1	-6.6	2.36	52.5	Novillo	molido, 29%
Scott <i>et al.</i> (2003)	4	0.6	-0.9	2.24	62.5	Novillo	molido, 29%
Promedio		-0.8	-6.6	2.31			

CMS=Consumo de materia seca; GDP= ganancia diaria de peso.

## EVALUACIÓN DE CONDICIONES DE PROCESO DE GRANOS

Cuando el grano es la principal o única fuente de almidón en la dieta, la concentración de almidón en las heces (almidón fecal (af), % de la ms) de bovinos en corral puede servir como un indicador de la digestión total del almidón y su valor alimenticio. Zinn et al. (2007), evaluaron datos de treinta y dos pruebas de metabolismo, involucrando 637 mediciones individuales de digestibilidad del almidón, encontrando que el almidón fecal, explica 96% de la variación en la digestión del almidón en el tracto total ( $datt (\%) = 99.9 - 0.413 af - 0.0131 AF2$ ; concluyendo que la digestión del almidón observada está estrechamente asociada ( $r^2 0.88$ ) con el valor de en del maíz:  $ENm \text{ maíz (Mcal/kg)} = -0.75 + 0.032 dta$ .

Cuando el maíz es la principal fuente de almidón dietario:  $ENm \text{ maíz (Mcal/kg)} = 2.44 - 0.0132 af - 0.0004189 af^2$  y  $ENg \text{ (Mcal/kg)} = 0.877 ENm - 0.41$ . Estas relaciones también aplican a sorgo y trigo (Zinn et al., 2011). Por lo tanto se puede usar el almidón fecal como un indicador para evaluar los procesos de los granos.

## ENZIMAS EXÓGENAS

Los resultados de Romero et al. (1992) indican que es posible mejorar las ganancias de peso y la conversión alimenticia al tratar el grano de sorgo con enzimas exógenas. Gutiérrez et al. (2005) encontraron que el tratamiento de sorgo y maíz con amilasas exógenas de *Bacillus licheniformis* y glucoamilasa de *Aspergillus niger* incrementan la digestión ruminal in vitro. Rojo et al. (2005), reportan que amilasa de *B. Licheniformis* mejora la digestión ruminal del almidón. Sin embargo, en estudios in vivo, al adicionar amilasa de *Bacillus licheniformis* en una dieta para ovinos a base de sorgo no tuvo efecto (Crosby et al., 2006).

Existen pocos estudios en corral de engorda, sin embargo, los datos de engorda intensiva con ovinos en dietas de finalización indican que pueden ser alternativas a considerar. El uso de enzimas amilolíticas termoestables de organismos con actividad mayor a los del rumen (100 a 200 veces mayor) ha mostrado mayor ganancia de peso y eficiencia de utilización del alimento, pero las ventajas no fueron las esperadas de acuerdo a los incrementos de digestibilidad observada en el rumen (Mora et al., 2002; Buendía et al., 2003), por lo que los trabajos con diversas dosis y enzimas (Crosby et al., 2006; Lee et al., 2006), y la adición de buffers (Lee et al., 2007) mostraron que se estaba incrementando demasiado la digestibilidad ruminal del almidón causando problemas de acidosis ruminal subclínica. La alternativa para usar enzimas amilolíticas es reducir el nivel de grano de 75 a 60% con enzimas para mantener el mismo comportamiento (Mota et al., 2011; Mendoza et al., 2013a), lo cual puede permitir su incorporación en forma económica (Mendoza et al., 2015). A pesar de que existe poco fdn en las raciones de bovinos en corral de engorda, se ha incorporado enzimas fibrolíticas considerando que existen condiciones limitantes de digestión de la fibra y que en función de la fracción potencialmente digestible del forraje usado puede haber respuesta (Mendoza et al., 2014). Salem et al. (2013) reportaron incrementos del 16% en ganancia de peso y mejora del 9% en conversión alimenticia, sin embargo, hay más trabajos donde no hay respuesta a las enzimas comerciales fibrolíticas (ZoBell et al., 2000; Vargas et al., 2013; Miller et al., 2008; Eun et al., 2009). Algunos estudios en corrales de engorda donde se usan esquilmos muestran respuestas positivas con dosis muy altas (Torretera et al., 2005) aunque hay indicadores de que las enzimas fibrolíticas exógenas pueden mejorar las características de la canal (Eun et al., 2009; Vargas et al., 2013), los resultados indican que uso actual es poco rentable (Mendoza et al., 2013b).

## COMENTARIOS

Las fuentes de grano, difieren en la respuesta al método y grado de procesamiento. Para una máxima digestión del almidón, los cereales de maíz y sorgo deben ser procesados con mayor intensidad, para cebada y trigo poco procesamiento es requerido. La matriz proteica que está envolviendo los gránulos de almidón es uno de los factores que afecta la tasa y grado de digestión del almidón. Sin embargo, las características intrínsecas y tasa de digestión del grano no procesado también tienen un papel importante en la magnitud de respuesta en el proceso.

Los métodos de procesamiento hojueleado al vapor y alto en humedad incrementan la digestión del almidón del sorgo y maíz tanto en rumen como en el tracto posterior. El proceso de hojueleado al vapor de maíz y sorgo incrementa el valor de ENg de 17 a 22% para maíz y sorgo. El valor de maíz puede ser afectado por la intensidad del proceso en maíz hojueleado al vapor.

En general no hay mucha diferencia en los métodos de procesamiento en seco para maíz y sorgo, y las variaciones en pruebas se deben a interacciones con el nivel de grano, consumo, fdn forraje, edad del ganado, variedades e híbridos etc. La concentración de almidón en las heces de bovinos en corral, es un indicador que puede ser útil para estimar la digestión total del almidón en dietas basadas en grano.

El uso de enzimas exógenas (amilolíticas o fibrolíticas) deberá evaluarse en función de la reducción de nivel de grano y análisis económico para su posible uso en dietas altas en grano.

[Volver a: Forrajes conservados: granos y semillas](#)