

## EL PROCESADO DE CEREALES EN DIETAS DE MONOGÁSTRICOS

J. Wiseman  
Departamento Agricultura y Horticultura  
Universidad de Nottingham  
Loughborough, LEICS LE11 2RA, Gran Bretaña

### 1.- INTRODUCCIÓN

Diferentes tratamientos físicos se aplican a los cereales con el objetivo de mejorar su valor nutritivo, elevar la digestibilidad de sus componentes y aumentar su palatabilidad como consecuencia de una mejor textura de la dieta. Así por ejemplo dietas secas y pulverulentas no son bien consumidas por los pollos y el granulado reduce este problema. Además también disminuye la selección de alimentos lo que minimiza los rechazos. Muchas de las mejoras en los parámetros de crecimiento consideradas como resultado del granulado deben ser atribuidas a estos últimos efectos más que un aumento de la digestibilidad de los nutrientes. Finalmente, tales tratamientos son de particular importancia para eliminar organismos patógenos que podrían estar presentes (ej: salmonela).

El procesado físico incluye diferentes tipos de tratamientos. Puede implicar la compactación física (por ejemplo el granulado) y la aplicación de calor. Ambos procesos pueden estar acompañados por el tratamiento con agua (a menudo en forma de vapor).

El objetivo de este trabajo es analizar los resultados del procesado físico sobre la estructura química de los cereales y las consiguientes mejoras de su valor nutritivo. Aunque los cereales con la materia prima que será estudiada, a menudo es el conjunto de la dieta el que es procesado. Por lo tanto con frecuencia es difícil determinar si las mejoras obtenidas con el procesado son debidas al cereal en sí mismo o a la dieta en su conjunto. El tratamiento de los cereales con enzimas exógenas para dietas de monogástricos es una innovación reciente y varios tratamientos físicos son utilizados para promover la acción de estos aditivos. Sin embargo este tema será tratado posteriormente y no será considerado aquí.

## 2. MÉTODOS DE PROCESADO

Numerosos métodos son empleados en el procesado de los cereales y de las dietas que los contienen. La reducción del tamaño de partícula tiene lugar durante la molienda en molino de martillos, la técnica de procesado más habitual, o mediante el aplastado, que aumenta la superficie del grano. La compactación (granulado) también se utiliza frecuentemente. Estos métodos son denominados técnicas de procesado en frío y están diseñados para mejorar la digestibilidad por rotura física del grano o de su estructura interna.

Los métodos de procesado en caliente suponen la utilización del calor, bien directamente (popping, micronizado) o de indirectamente a través del uso de vapor. La presencia o ausencia de humedad es una variable adicional. El principal objetivo de estas técnicas aplicadas a cereales es modificar la estructura física y química del almidón para hacerlo más digestible. Muchos métodos de procesado son utilizados combinadamente lo que complica cualquier valoración de su eficacia. Además es evidente que las distintas materias primas responden de forma diferente a los métodos de procesado. De este modo no es posible dar unas recomendaciones generales aplicables a todas las situaciones.

## 3. ESTRUCTURA DEL ALMIDÓN

El principal componente de todos los cereales es el almidón. En el trigo, representa entre 600 y 700 g/kg de su materia seca (Wiseman e Inborr, 1990). Por lo tanto conocer la estructura y digestibilidad del almidón y cómo éstas pueden ser alteradas por el procesado es importante para cualquier discusión de los efectos beneficiosos del procesado.

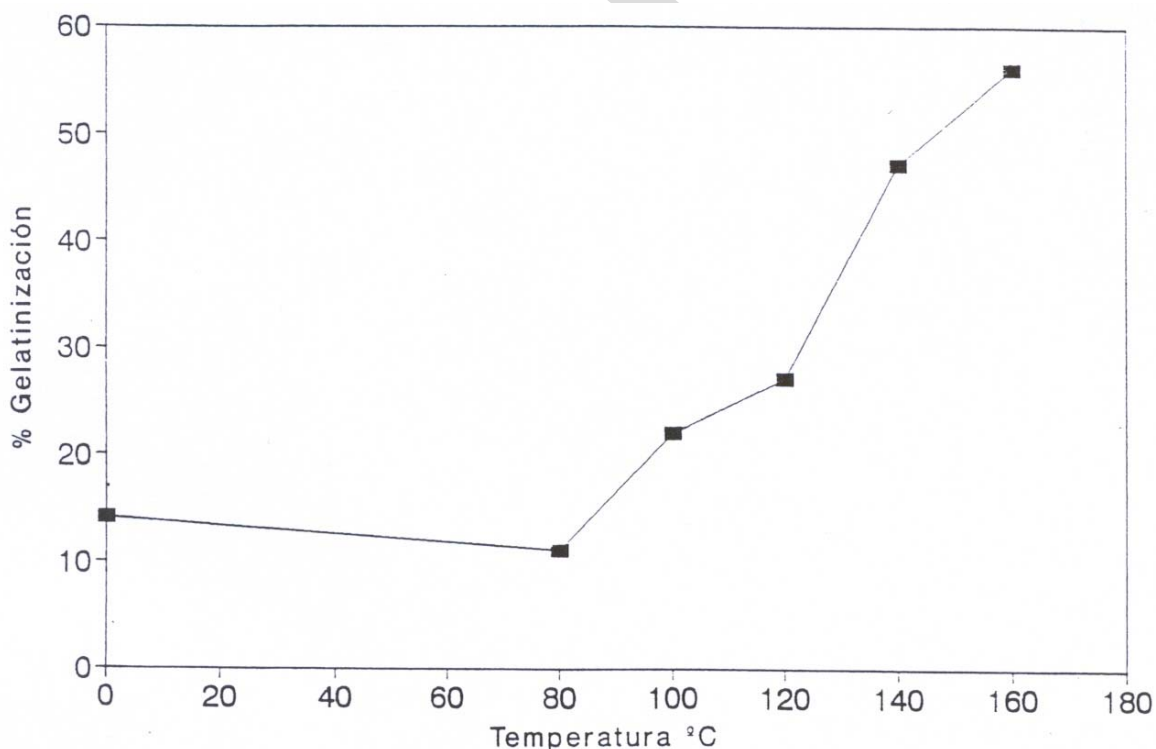
El almidón de los cereales consiste de dos polímeros principales, la amilosa y la amilopectina, que habitualmente se presentan en una proporción 25:75 respectivamente, aunque se conocen variantes con proporciones diferentes (“variedades céreas” en las que casi todo el almidón está presente como amilopectina). La amilosa se cristaliza en dos formas que dependen de su densidad de empaquetamiento y de la cantidad de agua asociada con ella. Así los cristales “A” están empaquetados más estrechamente y tienen menos agua que los cristales “B”. La amilopectina es una molécula de cadena larga ramificada que sin embargo muestra cierta cristalinidad (Morán, 1982). Estas dos moléculas aparecen como gránulos de almidón, en un amplio rango de tamaños, dentro de los cereales. Se ha sugerido que este rango junto con la proporción de cristales de amilosa A y B depende de las condiciones de maduración del grano. Así ambientes húmedos favorece la formación de estos últimos tipos.

Se ha sugerido que la carencia de agua en el almidón de los cereales (particularmente cuando el grano madura que es cuando el contenido de agua disminuye) conduce a la aparición de “grietas” que permiten la entrada de amilasas durante la digestión.

#### 4. ALTERACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL ALMIDÓN COMO CONSECUENCIA DEL PROCESADO

La naturaleza cristalina del almidón conduce al fenómeno conocido como birefringencia, que consiste en la aparición de zonas luminosas y oscuras cuando se visualiza al microscopio con luz polarizada. La birefringencia desaparece progresivamente durante el calentamiento y por tanto está asociada con la pérdida de cristalinidad. A pesar de su estructura molecular, el almidón no se soluble en agua fría. El calentamiento del almidón en presencia de agua hace que el gránulo se hinche y se alcance un punto en que este proceso es irreversible. La temperatura a la que esto ocurre se denomina temperatura de gelatinización y normalmente se encuentra dentro del rango de los 60-70 °C para los cereales. Sin embargo la gelatinización es un proceso gradual y está influido tanto por las condiciones del calentamiento como por la temperatura en sí misma. Por ejemplo, en el tostado seco del maíz la gelatinización comienza alrededor de los 100 °C y el proceso continúa cuando la temperatura aumenta (Costa et al., 1976; figura 1).

**Figura 1. Efecto de la temperatura durante el tostado seco del maíz sobre la gelatinización del almidón (Costa et al., 1976)**



La importancia de este proceso consiste en que se podría mejorar la digestibilidad del almidón, aunque un calentamiento excesivo invertiría esta mejora. Sin embargo la estrecha asociación entre almidón y proteína dentro del grano (la cual es variable y está relacionada con muchos criterios de calidad de los cereales, particularmente la “dureza” del trigo) puede actuar como una barrera a la gelatinización excesiva.

La influencia de las condiciones de procesado sobre las propiedades físico-químicas del maíz (estructura del almidón y susceptibilidad a la hidrólisis enzimática) fueron estudiadas por Mercier y Guilbot (1974). El cereal molido (2 ó 7,5 mm) fue granulado (2,5 ó 10 mm) o tratado con vapor (1, 3 ó 10 mm) y luego granulado (2,5 ó 10 mm). Los resultados muestran que el grado de molienda tuvo poco efecto sobre la estructura del almidón o su consiguiente hidrólisis, siendo la mejora con el molido a 2 mm de sólo un 3%. Por otro lado el granulado incrementó la hidrólisis del almidón, siendo mayor para el tamaño más pequeño lo cual se relacionó con una mayor presión y temperatura. La respuesta fue mayor con tratamiento previo con vapor durante 10 minutos, que provocó la gelatinización de los gránulos de almidón. Sin embargo, 1 ó 3 minutos de tratamiento no produjeron ninguna influencia.

Ensayos “in vitro” de los efectos del procesado, utilizando equipos de extrusión bajo condiciones variables de temperatura, humedad y velocidad del tornillo del extrusor, sobre la digestibilidad del almidón de cereales han sido realizados recientemente por Dahlin y Lorenz (1993). Aunque en todos los casos se obtienen digestibilidades más altas para los cereales procesados que para los no procesados, los resultados muestran que la respuesta es variable y depende del tipo de cereal. Así la humedad (15 vs 25%) tuvo poco efecto sobre el maíz pero supuso un importante beneficio para el arroz o el trigo. Temperaturas elevadas (80/100 °C vs 100/150 °C) estuvieron asociadas con digestibilidades más altas en todos los cereales, pero el efecto fue mayor para arroz y trigo. Un resultado interesante fue que el aumento de la velocidad del proceso (100 vs 150 rpm), particularmente en combinación con temperaturas altas, provocó una disminución de la digestibilidad, lo que parece ser debido a un aumento de grupos reductores tras la hidrólisis del almidón lo que favorece la producción de compuestos Maillard.

En los ensayos “in vitro” sobre la digestibilidad del almidón se observan problemas mayores que “in vivo”, lo que podría deberse a un aumento de la secreción de  $\alpha$ -amilasa como respuesta a los cambios en el almidón de la dieta (Moran, 1982).

## **5. EFECTOS DEL PROCESADO SOBRE EL VALOR NUTRITIVO**

Hasta ahora se ha establecido que el almidón es el componente más importante de los granos de cereales y que los posibles cambios de su estructura debidos al procesado han de ser considerados. Pasemos ahora a estudiar si el procesado supone una mejora del valor nutritivo.

### **5.1. Grado de molienda**

Los cerdos y aves responden de forma diferente a cambios en el tamaño de partícula. De hecho los pollos cuando han alcanzado cierta edad son capaces de utilizar granos enteros debido a la capacidad de molienda de la molleja. Así el suministro de granos de trigo enteros ha sido utilizado durante bastante tiempo en los sistemas de alimentación de libre elección (“choice feeding”) para broilers. En estos sistemas se proporciona una mezcla de proteína/minerales y granos de trigo enteros permitiendo al animal que seleccione la combinación más apropiada para cubrir sus necesidades nutritivas. Además, las dietas pueden

resultar más baratas dado que no existe el coste asociado con la molienda del trigo (Belyavin, 1993).

A diferencia de las aves, los cerdos carecen de molleja y además no mastican durante la ingestión. Por lo tanto las dietas con granos enteros son menos apetecibles y los rendimientos son peores. Como consecuencia la disminución del tamaño de partícula de los granos es esencial. Sin embargo es sabido que un molido demasiado fino reduce la palatabilidad y crea problemas de formación de polvo. Además, partículas excesivamente finas (< 0,5 mm) han sido asociadas con un estado denominado “necrosis por contacto” (“necrosis pressure”) (Wilson y McNab, 1976). Especialmente el trigo, si se muele muy fino, se vuelve “pegajoso” debido a la presencia de gluten y es rechazado por cerdos y pollos. Tamaños pequeños de partícula han sido también relacionados con la aparición de úlceras de estómago en cerdos (Vanschoubroek et al., 1971).

El grado óptimo de reducción del tamaño de partícula en cereales suministrados a cerdos ha sido estudiado por Lawrence (1967) e Ivan et al. (1974). Algunos de sus resultados se presentan en el cuadro 1. Puede observarse que los granos enteros son relativamente mal utilizados. La disminución del tamaño de partícula a través de la molienda fina (5,25 mm) o del aplastado es beneficiosa. No obstante en términos del grado de reducción del tamaño de partícula resulta incorrecto comparar directamente ambos métodos de procesado. Así, como señaló Lawrence (1976), el aplastado puede dar resultados similares a los obtenidos con la molienda pero estará asociado con un tamaño mayor de partícula. El aplastado es más efectivo porque aumenta la superficie de ataque.

**Cuadro 1. Influencia del molido sobre el valor nutritivo del trigo para cerdos (Lawrence, 1967; Ivan et al., 1974)**

Coeficiente de digestibilidad aparente	Tratamiento			
	Entero	Molienda		Aplastado
		Fina	Gruesa	
Materia seca	0,755	0,862		0,866
		0,811	0,820	0,841
Nitrógeno	0,753	0,900		0,895
		0,820	0,840	0,850
Energía bruta	0,748	0,861		0,856
		0,812	0,834	0,849

Resultados similares han sido obtenidos con la cebada (cuadro 2), aunque las diferencias entre los distintos grados de molido son menos importantes que con el trigo.

**Cuadro 2. Influencia de la molienda sobre el valor nutritivo de la cebada para cerdos (Lawrence, 1970)**

Coeficiente de digestibilidad aparente	Tratamiento				
	Entero	Molienda			Aplastado
		Fina	Media	Gruesa	
Materia seca	0,636	0,805	0,798	0,782	0,809
Energía bruta	0,638	0,803	0,798	0,780	0,796

## 5.2. Digestibilidad de los nutrientes y rendimientos

Numerosos experimentos han sido diseñados para estudiar los efectos del procesado sobre el valor nutritivo de los cereales y de las dietas en que son añadidos. El principal problema para la interpretación de los datos es que las condiciones del procesado no son siempre conocidas y algunos experimentos tan sólo describen el proceso empleado en términos de equipos utilizados, sin especificar por ejemplo el tiempo o la temperatura empleados. Probablemente esto explica por qué dentro de la literatura hay tanta información contradictoria sobre el valor relativo de los procesos individuales. Otras complicaciones relativas a la interpretación de los datos derivan de que el cereal rara vez es procesado aisladamente de otros componentes de la dieta. No obstante a continuación se discuten algunos de los principales cambios que pueden ocurrir como consecuencia del procesado.

Un calentamiento excesivo puede resultar en una menor disponibilidad de los nutrientes. Además de dañar al almidón, la digestibilidad de la proteína y de los aminoácidos puede verse afectada negativamente. Un experimento sobre los efectos de la temperatura durante el tostado del maíz fue realizado por Costa et al. (1976). El cereal fue calentado a temperaturas de salida que variaban en el rango de 80 a 160 °C. Cuando la temperatura aumentaba los granos tendían a ser más oscuros, con un sabor y olor característicos debido a la formación de compuestos procedentes de la reducción de los aminoácidos y azúcares presentes. Los cerdos de 10 kg mostraban preferencia por los granos calentados a 100 °C, aunque ensayos previos habían demostrado que los cerdos de mayor edad son menos sensibles en lo que respecta al calentamiento excesivo. Un experimento posterior con cerdos de 70 kg (cuadro 3) no mostró diferencias entre tratamientos en términos de valor energético de la dieta, incluso cuando las dietas fueron granuladas (aunque se observó una tendencia a obtener valores más altos para el maíz granulado). La retención de nitrógeno se vio favorecida por un calentamiento suave y desfavorecida por un calentamiento a elevadas temperaturas.

Por lo tanto parece que el balance de nitrógeno es más sensible al procesado por calor que el valor energético. El granulado, bajo las condiciones de este experimento, fue responsable de otros cambios adicionales del valor nutritivo ya que la retención de nitrógeno fue más baja que en las dietas no granuladas, incluso para el maíz no calentado. Los efectos del procesado son variables y dependen de qué aspecto del valor nutritivo esté siendo examinado. Además el genotipo del cereal puede también influir en las respuestas al

procesado. Así el maíz “normal” tostado a 100 °C condujo a una mejora de los rendimientos en cerdos lo que no se observó con el maíz “opaco-2” (Costa et al., 1976).

**Cuadro 3. Influencia de la temperatura de tostado sobre el valor nutritivo del maíz para cerdos (Costa et al., 1976)**

	Tratamiento				
	Forma de la dieta	No tratada	80 °C	120 °C	160 °C
Energía metabolizable (MJ/kg MS)	Harina	15,77	15,82	15,86	16,07
	Gránulo	16,74	16,15	16,11	15,90
Retención nitrógeno (%)	Harina	35,9	44,7	46,2	38,4
	Gránulo	30,6	39,5	36,4	32,3

En un estudio posterior con maíz, Barrier-Guillot et al. (1993) observaron que altas temperaturas estuvieron asociadas con una disminución de los valores de energía metabolizable verdadera (EMV) en aves, sin que se observaran cambios paralelos en la digestibilidad del almidón. Este efecto no fue observado en cerdos. Al considerar la proteína y aminoácidos, se obtuvieron en ambas especies valores más bajos a altas temperaturas aunque el cerdo parece ser más sensible a los efectos del calentamiento excesivo, particularmente en el caso de la lisina. Algunos de estos resultados se muestran en el cuadro 4. Es probable que las respuestas obtenidas sean el resultado de la formación a altas temperaturas de complejos de proteínas y aminoácidos de baja digestibilidad y disponibilidad.

**Cuadro 4. Influencia del secado sobre el valor nutritivo del maíz para pollos y cerdos (Barrier-Guillot et al., 1993)**

Coeficiente de digestibilidad	Temperatura del tratamiento (°C) <sup>a</sup>					
	Control	100/90	120/100	130/105	140/110	160/120
1.- Pollos						
Proteína <sup>b</sup>	0,848	0,860	0,861	0,872	0,838	0,934
Lisina <sup>b</sup>	0,823	0,829	0,829	0,775	0,735	0,704
Metionina <sup>b</sup>	0,854	0,865	0,875	0,851	0,851	0,822
Almidón <sup>c</sup>	0,987	0,994	0,988	0,990	0,990	0,989
EMV (MJ/kg)	16,71	16,67	16,65	16,46	16,46	16,52
2.- Cerdos						
Proteína <sup>d</sup>	0,808	0,771	0,769	0,728	0,728	0,749
Lisina <sup>d</sup>	0,776	0,701	0,691	0,639	0,639	0,696
Metionina <sup>d</sup>	0,932	0,924	0,915	0,905	0,905	0,919

a: En cada tratamiento figuran respectivamente la temperatura a la que se eliminó aproximadamente 2/3 de la humedad y la temperatura a la cual el contenido en humedad final se redujo aproximadamente al 15%. El control fue calentado a la temperatura ambiente + 5 °C.

b: Digestibilidad verdadera.

c: Digestibilidad aparente.

d: Digestibilidad aparente ileal.

El micronizado es un sistema de procesado relativamente nuevo que incluye la aplicación de calor a través de placas de cerámica tras un procesado físico (generalmente aplastado). Un estudio acerca de la eficacia de este proceso aplicado a cereales ha sido realizado por Lawrence (1976).

Como ejemplo, en el cuadro 5 figuran algunos de los datos obtenidos con trigo en cerdos. Es evidente que el proceso, tal como fue aplicado durante este ensayo, no significó una mejora importante. Sin embargo resulta de interés el comentario de Lawrence (1976) de que el nivel de humedad en el grano fue quizás insuficiente para permitir que los beneficios del procesado pudieran ser apreciados.

**Cuadro 5. Influencia de la temperatura y el tiempo sobre el valor nutritivo del trigo micronizado para cerdos (Lawrence, 1975)**

Coeficiente de digestibilidad aparente	Tratamiento				
	Molido (4,7 mm)	Aplastado frío	Micronizado <sup>1</sup>		
			A	B	C
Materia seca	0,888	0,885	0,882	0,884	0,881
Energía bruta	0,879	0,879	0,879	0,886	0,875
Nitrógeno	0,889	0,887	0,879	0,890	0,878

1: A, B y C se refieren respectivamente al tiempo y las temperaturas de 23s/155 °C, 37s/190 °C y 76s/220 °C antes del molido a 4,7 mm.

Generalmente se acepta que el granulado mejora el valor nutritivo de las dietas para cerdos (Vanschoubroek et al., 1971). Sin embargo todavía se discute si las ventajas son puramente físicas (por ejemplo, disminuyendo la selección de alimento y los rechazos, aumentando la densidad de nutrientes de la dieta, reduciendo el contenido en humedad) o si hay una verdadera mejora del valor nutritivo tras este procesado. Ciertamente las temperaturas empleadas durante el granulado junto con la humedad presente (en forma de vapor) y la presión generada (la cual es mayor cuanto más pequeño es el tamaño del gránulo) son suficientes para alterar la estructura de los componentes del alimento (particularmente el almidón) permitiendo en teoría un aumento de la digestibilidad. Por lo tanto es de gran interés examinar el valor de los gránulos que han sido molidos de nuevo.

Otra alteración potencial del granulado concierne al componente “fibra” de los cereales dado que elevadas temperaturas y presiones pueden alterar esta fracción. Algunos estudios han demostrado que dietas con alto contenido en fibra son mejoradas en mayor medida que aquellas con bajo contenido. En este sentido, Summers et al. (1968) observaron que el granulado con vapor mejora más la energía del salvado de trigo para pollos que la del maíz. Sin embargo no se han realizado estudios más detallados de la fracción “fibra” y se ha sugerido que la mejora era el resultado del aumento de la densidad del material. El trabajo de Olsen y Slinger (1968) fue diseñado para examinar el efecto de la molienda de gránulos de salvado de trigo sobre la digestibilidad de los aminoácidos y el nitrógeno en ratas. Los resultados demuestran que hubo mejoras generales atribuidas a la destrucción de las paredes celulares de aleurona. Es interesante destacar que previamente se había demostrado que el granulado no tuvo efecto sobre el valor nutritivo (digestibilidad aparente de la proteína) del



trigo, maíz, cebada y avena. Posteriores investigaciones de Saunders et al. (1969) confirmaron que el granulado con vapor de las fracciones de molinería del trigo rompía las paredes celulares de la capa de aleurona y aumentaba la digestibilidad.

Sin embargo, un estudio reciente (Petterson et al., 1990) muestra que los beneficios no son tan importantes y que de hecho el granulado a elevadas temperaturas estuvo asociado con una viscosidad del extracto más alta y con un ligero aumento de la incidencia de heces pegajosas en pollos alimentados con una dieta a base de trigo (250 g/kg), cebada (400 g/kg) y centeno (71 g/kg). Sin embargo el granulado no tuvo ningún efecto significativo sobre la viscosidad en el intestino y los rendimientos de pollos que recibían dietas conteniendo centeno (580 g/kg) (Bedford et al., 1991). Es posible que los cambios de la fracción “fibra” tras el granulado sean de hecho perjudiciales para el valor nutritivo, aunque esta respuesta puede estar influida por el tipo de cereal tratado.

Se acepta, al menos en estudios “in vitro”, que el calentamiento del almidón lo hace más accesible al ataque de los enzimas amilolíticos. Osman et al. (1970) estudiaron los efectos del vapor y la presión después de la obtención de copos sobre la digestibilidad del almidón de cereales utilizando sistemas “in vitro”. Algunos de estos resultados para la cebada se presentan en el cuadro 6. Es evidente que el proceso clave es la producción de copos. Resulta también interesante destacar que para el sorgo las respuestas fueron menos evidentes, confirmando que los cereales responden de forma diferente a las condiciones de procesado.

**Cuadro 6. Influencia del procesado sobre la digestibilidad “in vitro” del almidón de cebada (Osman et al., 1970)**

<b>a) Calentamiento a presión</b>					
	<b>Tratamiento</b>				
	<b>No tratado</b>	<b>Con vapor</b>	<b>Presión de cocinado (kg/cm<sup>2</sup>)</b>		
			<b>1,4</b>	<b>2,8</b>	<b>4,2</b>
Coeficiente	0,214	0,178	0,170	0,186	0,311
<b>b) Formación de copos</b>					
	<b>Tratamiento</b>				
	<b>No tratado</b>	<b>Con vapor (no copos)</b>	<b>Procesado con vapor. Copos</b>		
			<b>Ligero</b>	<b>Medio</b>	<b>Plano</b>
Coeficiente	0,227	0,184	0,265	0,368	0,512
<b>c) Calentamiento a presión y formación de copos</b>					
	<b>Tratamiento</b>				
	<b>Presión (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Ninguno</b>	<b>Copos</b>		
			<b>Ligero</b>	<b>Medio</b>	<b>Plano</b>
Coeficiente	1,4	0,173	-	0,290	0,338
	2,8	0,186	0,304	0,436	0,470
	4,2	0,343	0,384	0,411	0,483

Quizás el mayor interés del procesado de cereales es en dietas de lechones. Estos a diferencia de los pollitos recién nacidos no tienen una adecuada capacidad para digerir almidón (Morán, 1982). Generalmente se acepta que el sistema digestivo del lechón precozmente destetado (entre las 3 y 4 semanas de edad) es comparativamente inmaduro y que los niveles de  $\alpha$ -amilasa pancreática son deficientes. La capacidad digestiva completa no se desarrolla aproximadamente hasta las 10 semanas de vida (Kidder y Manners, 1978). Hay numerosos casos de problemas digestivos en cerdos destetados tempranamente y una posible causa es la incapacidad del animal para digerir el almidón adecuadamente (los cereales representan el principal ingrediente en dietas de cerdos) por falta de enzimas, estructura del gránulo del almidón o presencia de inhibidores enzimáticos. Anteriormente se ha comentado que el calentamiento rompe la estructura del gránulo de almidón haciéndolo más susceptible a la hidrólisis enzimática. Ha sido observado que la actividad enzimática en lechones que pasan a consumir una dieta basada en cereales aumenta, y que lechones en la primera semana tras el destete son capaces de digerir almidón puro (Lindemann et al., 1986). Es posible que el procesado por calor mejore el valor nutritivo en sistemas donde la capacidad digestiva “normal” esté deteriorada.

Sauer et al. (1990) publican los resultados de un ensayo donde una dieta a base de cereales (trigo y cebada) fue suministrada a lechones de 21 días de edad. Las dietas fueron granuladas con vapor, extrusionadas o extrusionadas y granuladas. Los resultados de digestibilidad y rendimientos se presentan en el cuadro 7. La extrusión tuvo un efecto beneficioso que desapareció en gran medida cuando las dietas fueron de nuevo granuladas. Otros trabajos de la literatura no permiten establecer una conclusión acerca de los posibles beneficios del procesado por calor ya que en muchos no se ha observado ninguna mejora. Es probable que el cereal en sí mismo sea importante, y también si el conjunto de la dieta es procesada (como lo fue en el caso de los datos de Sauer et al., 1990) o bien si sólo es procesado el cereal.

**Cuadro 7. Rendimientos y digestibilidad de dietas para lechones (Sauer et al., 1990)**

	Tratamiento		
	Granulado <sup>a</sup>	Extrusionado <sup>b</sup>	Extrusionado Re-granulado
<b>Coefficiente de digestibilidad aparente</b>			
Materia seca	0,803	0,827	0,823
Energía bruta	0,807	0,832	0,833
Nitrógeno	0,759	0,804	0,802
<b>Rendimientos</b>			
Ganancia peso (kg/d)	0,356	0,386	0,375
Índice conversión	1,75	1,65	1,75

a: Granulado con vapor utilizando 3-4% de vapor, temperatura de salida 70-75 °C, duración 4-5 minutos.

b: Humedad elevada al 20%, temperatura de 90 °C y luego hasta 150 °C durante el paso a través del extrusionador durante 2 minutos.

Hay una variación considerable en las respuestas obtenidas en lechones alimentados con cereales procesados. Mucha de esta variabilidad es atribuible a las condiciones del experimento las cuales incluyen, además del procesado en sí, factores animales tales como la edad, peso al destete y posibles enfermedades. Sin embargo es práctica común el proceso de calentar los cereales de una u otra forma cuando se incluyen en dietas de lechones, a menudo simplemente como un seguro contra posibles problemas post-destete.

Existe un gran interés en el problema de los bajos valores de EMV para el trigo ofrecido a pollos (Wiseman e Inbarr, 1976). Se ha sugerido que pueden existir dificultades en la digestión del almidón de algunos trigos, particularmente para pollitos. Aceptando que el procesado de cereales tiene poco efecto en la mejora del valor nutritivo (McNab, 1976; Mollah et al., 1983) se sugirió que tales tratamientos podrían ser valiosos para trigos de bajo valor energético. Sin embargo, experimentos posteriores revelaron que ni el molido fino ni el granulado en frío o con vapor tuvieron ningún efecto sobre el valor de EMV del trigo ni para pollos jóvenes (7 semanas de edad) ni adultos. Se concluyó que la accesibilidad de los gránulos de almidón a la enzimólisis no es reducida y que por tanto no es la causa de la menor digestibilidad del almidón en algunas muestras de trigo. En contra de estos resultados, Rogel et al. (1987) observaron un aumento tanto del coeficiente de digestibilidad del almidón (de 0,772 a 0,978) como del valor de EMV (de 11,61 a 14,27 MJ/kg MS) en pollos jóvenes (3 semanas) después de granular el trigo en frío. Sin embargo no se observaron diferencias con pollos de 6 semanas. Existe por tanto la posibilidad de que los pollos jóvenes no sean capaces de digerir el almidón presente en algunas muestras de trigo, aunque parece improbable que sea debido a una deficiencia de  $\alpha$ -amilasa (Moran, 1982). La presión durante el granulado puede romper los enlaces entre el almidón y la proteína dentro del trigo, pero esto no explicaría las diferencias observadas entre edades.

## 6. CONCLUSIONES

Hay un gran número de técnicas disponibles diseñadas para aumentar el valor nutritivo de los granos de cereales y de las dietas completas de cerdos y aves. La reducción del tamaño de partícula alcanzada tras la molienda y la producción de copos es generalmente beneficiosa para cerdos, pero de poco valor nutritivo para aves. Tamaños de partícula demasiado pequeños pueden causar problemas en ambas especies. El granulado es también beneficioso, los efectos pueden ser tanto físicos (aumento de la densidad e la dieta, disminución del polvo, facilitar el consumo de la dieta) como químicos (alteración de la estructura del gránulo de almidón). Los tratamientos con calor aplicados a cereales, con o sin adición de humedad, pueden tener un valor limitado excepto cuando se aplican a dietas de lechones y pueden tener efectos negativos sobre el valor nutritivo en términos de disponibilidad de la proteína y de los aminoácidos. Sin embargo, la digestibilidad del almidón de cereales es variable, por ejemplo con algunas muestras de trigo y con aves jóvenes, aunque la razones de esto no son conocidas.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Barrier-Guillot, B.; Zuprizal; Jondreville, C.; Chagneau, A.M.; Larbier, M. Y Leuillet, M. (1993) Anim. Feed Sci. And Techn. 41, 149.
- Bedord, M.R.; Classen, H.L. y Campbell, G.L. (1991) Poultry Sci. 70, 1571.

- Belyavin, C.G. (1993) En *Recent advances in animal nutrition*. W. Haresign y D.J.A. Cole (eds). Butterworths, London.
- Costa, P.M.A.; Jensen, A.H.; Harmon, B.G. y Norton, H.W. (1976) *J. Anim. Sci.* 42, 365.
- Dahlin, K.M. y Lorenz, K.L. (1993) *Cereal Chem.* 70, 329.
- Ivan, M.; Giles, L.R.; Alimon, A.R. y Farell, D.J. (1974) *Anim. Prod.* 19, 359.
- Kidder, D.E. y Manners, M.J. (1978) *Digestion in the pig*. Sciencetechnica, Bristol.
- Lawrence, T.L.J. (1967) *J. Agric. Sci. (Camb)* 68, 269.
- Lawrence, T.L.J. (1970) *Anim. Prod.* 12, 139.
- Lawrence, T.L.J. (1975) *Anim. Prod.* 20, 167.
- Lawrence, T.L.J. (1976) En *Recent advances in animal nutrition*. W. Haresign y D.J.A. Cole (eds). Butterworths, London.
- Lindemann, M.D.; Corneliuss, S.G.; El Kandelgy, S.M.; Moser, R.L. y Pettigrew, J.E. (1986) *J. Anim. Sci.* 62, 1298.
- McNab, J.M. (1976) En *Digestión in the fowl*. K.N. Boorman y B.M. Freeman (eds). Br. Poultry Sci. Ltd., Edinburgh.
- Mercier, C. y Guilbot, A. (1974) *Ann. Zootech.* 23, 241.
- Mollah, Y.; Bryden, W.L.; Wallis, I.R.; Balnave, D. y Annison, E.F. (1983) *Br. Poultry Sci.* 24, 81.
- Moran, E.T. (1982) *Poultry Sci.* 61, 1257.
- Osman, H.F.; Theurer, B.; Hale, W.H. y Mehen, S.M. (1970) *J. Nutr.* 100, 1133.
- Petterson, D.; Graham, H. y Aman, P. (1991) *Anim. Feed Sci. and Techn.* 33, 1.
- Rogel, A.M.; Annison, E.F.; Bryden, W.L. y Balnave, D. (1987) *Aust. J. of Agric. Res.* 38, 639.
- Sauer, W.C.; Mosenthin, R. y Pierce, A.B. (1990) *Anim. Feed Sci. and Techn.* 31, 269.
- Saunders, R.M.; Walker, H.G. y Kohler, G.O. (1969) *Poultry Sci.* 48, 1497.
- Summers, J.D.; Bentley, H.U. y Slinger, S.J. (1968) *Cereal Chem.* 45, 612.
- Vanschoubroek, F.; coucke, L. y Van Spaendonck, R. (1971) *Nutr. Abst. And Rew.* 41, 1.
- Wilson, B.J. y McNab, J.M. (1976) *Proc. Nutr. Sco.* 35, 231.
- Wiseman, J. e Inbarr, J. (1990) En *Recent advances in animal nutrition*. W. Haresign y D.J.A. Cole (eds). Butterworths, London.