

EL PROCESO DE GRANULACIÓN: BASES CIENTÍFICAS Y EFECTOS NUTRICIONALES

G.G. Mateos y S. Grobas
Departamento de Producción Animal. UPM.
COREN, S.C.L. Orense

1. INTRODUCCIÓN

Originariamente el objetivo de la granulación fué adaptar la presentación física del pienso a los nuevos sistemas de distribución, evitando los problemas de fluidez y manejo asociados a la utilización de las harinas (Pichon, 1988). En la actualidad los objetivos son más ambiciosos y engloban las siguientes áreas:

- Mejorar la productividad animal.
- Flexibilizar la formulación.
- Mejorar el aspecto físico y microbiológico del pienso.
- Dar argumentos comerciales al departamento de Marketing.

En sus inicios, el factor clave en la elección del sistema de granulación era su capacidad de producción. Hoy en día el objetivo es la calidad del producto final a un coste aceptable. La sofisticación del sistema y el tamaño de las máquinas ha ido aumentando con el tiempo. Hace 25 años la potencia media de las granuladoras estaba en torno a los 100 Kw. Hoy en día se acerca a los 300 y no es raro encontrarse con máquinas superiores a los 500-600 Kw (Schultz, 1990).

La granulación fué la principal mejora introducida en la tecnología de piensos desde la molienda. Bajo condiciones normales supone un beneficio y sólo el saber la cuantía del ahorro económico está abierto a discusión. El proceso consta de tres fases básicas: acondicionamiento hidrotérmico, compresión-extrusión y enfriado. Los piensos actuales tienden a la complejidad con lo que los equipos utilizados tienden a la sofisticación (maduradores, expanders, doble granulación, etc). Las condiciones de temperatura, tiempo, presión y humedad aplicados en cada tipo de proceso son variables y por tanto variables van a ser los costos y efectos de la granulación.

2. VENTAJAS DEL PROCESO DE GRANULACION

Al granular aplicamos fuerzas de naturaleza mecánica, física y térmica a las harinas bajo condiciones muy variables. El efecto dependerá de tres tipos de factores:

- Naturaleza y condiciones del proceso.
- Características de la especie de destino.
- Composición y valor nutritivo de la ración.

Fuerzas mecánicas de fricción, abrasión, presión y extrusión se aplican al moler y pasar los ingredientes por los agujeros de la matriz. Estos procesos mecánicos rompen las estructuras celulares y liberan los elementos nutritivos que contienen. Parece pues razonable que el efecto sea tanto más positivo cuanto más fibroso sea el pienso (Huyghebaert et al., 1979; Moran, 1989) o cuanto más jóvenes sean los animales ya que el sistema enzimático es más inmaduro.

Los procesos hidrotérmicos (temperatura, vapor caliente, etc.) pueden actuar a varios niveles: inactivación de factores antinutricionales termolábiles, desnaturalización de las proteínas, pregelatinización de los hidratos de carbono, etc. En general el efecto mecánico tiene mayor importancia que el efecto térmico. Sin embargo, la aplicación de unas condiciones idóneas de humedad y temperatura en combinación con un tratamiento mecánico agresivo que destruya las estructuras fibrosas de las membranas celulares pueden acelerar y hacer más efectivo el proceso enzimático de utilización de nutrientes.

2.1. Efectos químico-mecánicos

La molienda y el procesado hidrotérmico de las harinas buscan los siguientes objetivos:

- Desnaturalizar proteínas.
- Liberar lípidos encapsulados.
- Romper estructuras celulares.
- Pregelatinizar el almidón.
- Inactivar factores antinutritivos.

Granulación y proteínas

Numerosos trabajos de divulgación apuntan de forma reiterada que el calor junto con la humedad y el estrés físico aplicado durante el proceso de granulación permiten desnaturalizar las proteínas facilitando así la actividad de las proteasas enzimáticas y mejorando la digestibilidad (Moran et al., 1968; Moran, 1984). Por otro lado, la temperatura y la presión asociadas al proceso podrían disminuir la degradabilidad de la proteína en el rumen permitiendo un mayor paso al intestino delgado (Zinn et al., 1988).

En condiciones prácticas el efecto del granulado sobre la utilización de proteínas es muy marginal (Casteels et al., 1970; Tait y Beames, 1988). Sólo en el caso de que las materias primas contengan factores antinutricionales termolábiles (antiproteasas, lectinas, etc.) podría la granulación mejorar el rendimiento de la fracción proteica, especialmente si el proceso es agresivo (Richel, 1992). Carré et al. (1987) observaron que la granulación en guisantes redujo el nivel de actividad de los inhibidores de la tripsina entre un 15 y un 50%. Estos datos concuerdan con los de Huyghebaert y De Groot (1979) y con los de Lacassagne et al. (1986) en diversas semillas leguminosas.

En condiciones extremas, un granulado agresivo puede facilitar reacciones químicas tipo Maillard entre grupos amino libres de los aminoácidos y aldehídos de productos tales como lactosa, melazas, subproductos de panadería o grasas peroxidadas (Moran, 1987). La importancia de estas reacciones en productos no extrusionados es mínima.

Granulación y lípidos

La granulación no influye directamente sobre la digestibilidad de las grasas. No obstante, el proceso abrasivo que conlleva la molienda junto al paso a través de la matriz permite liberar la grasa de naturaleza intracelular facilitando su utilización por el animal. Un ejemplo es el haba de soja cuyo contenido lipídico es alto (18-19%) y de naturaleza intracelular. Los dos métodos más utilizados para eliminar los factores antinutricionales del haba son la extrusión húmeda y el tostado. El primer tipo de procesamiento rompe las estructuras celulares quedando libre la grasa para ser digerida. En el caso del tostado se destruyen los factores antinutricionales pero al no ser un proceso abrasivo gran cantidad de células permanecen intactas y parte de la grasa queda protegida y no disponible. En consecuencia, el contenido energético metabolizable de las habas de soja para monogástricos es superior en productos extrusionados que en productos tostados. Es de esperar que la molienda y la granulación beneficien más a las sojas tostadas que a las extrusionadas ya que permitirá liberar cantidades extras de lípidos intracelulares (cuadro 1). Así es tenido en cuenta en las Tablas Europeas (Subcomité de Energía de la WPSA, 1986) que valoran la soja integral tostada para aves en 3380 Kcal EM/kg en piensos en harina y en 3650 kcal/kg en piensos granulados. El efecto beneficioso del granulado sobre la digestibilidad de la grasa es de esperar que sea mayor cuanto más joven sea el animal (Waaljenberg, 1987; Lessire et al., 1988) y cuanto mayor sea el tamaño de las partículas de soja (Kan et al., 1988).

Cuadro 1. Influencia del procesado sobre el contenido energético metabolizable (Kcal/Kg) de soja entera tostada (Kan et al., 1988)

	Broiler	Gallo
Harina	2371	3812
Gránulo	3654	3972

Un efecto similar al descrito ha sido observado con granos de colza enteros por Salmon et al. (1988) y por Nwokolo y Sim (1989). La molleja de las aves no es capaz de triturar las semillas en parte debido a su pequeño tamaño. Muchas de ellas aparecerán intactas

en las heces. El proceso de molienda y granulación facilita la labor digestiva permitiendo mejoras en la utilización energética de hasta un 30% (Lessire, 1992).

Granulación y fibra

No existe mucha información sobre el efecto beneficioso directo del proceso de granulación sobre la digestibilidad de la fibra. Los resultados obtenidos son inconsistentes y en el mejor de los casos de limitado valor práctico (Vanschoubroek et al., 1971).

Las paredes celulares tienen un carácter estructural y contienen un alto porcentaje de hidratos de carbono complejos tipo lignina, celulosa, hemicelulosas y sustancias pécticas. Niveles altos de estos componentes vienen asociados con baja digestibilidad en monogástricos. Los nutrientes nobles quedan encapsulados o protegidos por estas estructuras que evitan o dificultan el acceso y trabajo eficaz de los enzimas. La granulación precedida por molienda rompe la continuidad de las paredes celulares y facilita la acción enzimática. Materias primas fibrosas tales como alfalfa (Moran, 1987), girasol (Carlson, 1985; Zadari y Sell, 1988) y salvado (Skoch et al. 1983a) serían de los más beneficiados por el proceso mecánico de granulación.

Granulación y almidón

El estrés térmico y mecánico asociado con la granulación puede modificar la estructura de los almidones (Behnke y Fahrenholz, 1986; Robohom y Apelt, 1987). Este hidrato de carbono está constituido por cadenas helicoidales de amilosa y amilopectina en proporción variable según genotipo y edad de la planta. El almidón se acumula en forma de gránulos protegidos por su propia estructura y por una matriz proteica suplementaria cuya naturaleza y anclajes varían según el tipo de planta. Las características estructurales determinan en gran medida la velocidad de digestión del almidón así como la influencia potencial de los diversos tratamientos tecnológicos sobre la misma (Mc Ellhiney, 1989; Douglas et al., 1989).

El paso limitante en la utilización del almidón es el contacto inicial entre enzima y sustrato. Una vez que esto ocurre el proceso se desarrolla con intensidad. En el caso de las aves la rápida velocidad del tránsito de los contenidos digestivos supone una limitación al proceso de digestión de almidones muy protegidos (Yuste et al., 1991).

El calentamiento en presencia de humedad favorece la entrada de agua en el gránulo de almidón que pierde en parte su estructura cristalina. Este proceso es más profundo cuando actúa la presión. Se comprueba que la gelatinización es más intensa con granulado en seco que en húmedo y que afecta más a las capas externas del gránulo recién formado (Vanschoubroek et al., 1971).

En cualquier caso no debemos olvidar que las granuladoras no están diseñadas para gelatinizar el almidón. Modificando las condiciones de temperatura, humedad y presión podemos mejorar el proceso de hidrólisis pero rara vez conseguiremos superar el 20% de

gelatinización. Si nuestro objetivo es conseguir porcentajes superiores deberemos cambiar la naturaleza del proceso (extrusionando, por ejemplo).

No está claro que la gelatinización mejore el coeficiente de digestibilidad de los almidones de los cereales, especialmente en animales adultos (Tait y Beames, 1988; McNab, 1992). En el caso de las leguminosas ricas en almidón (habas, guisantes, etc) la granulación puede ejercer un efecto francamente positivo (Carré et al., 1987). El almidón de las leguminosas tiene distinta composición, tamaño y estructura que el almidón de los cereales. Los enlaces intermoleculares que mantienen la estructura son más estables para las primeras que para los segundos. Los tratamientos tipo extrusión o granulación son más efectivos para las leguminosas que para los cereales (Tait y Beames, 1988). Richet (1992) recomienda dar distinto valor energético a los guisantes según se incluyan en dietas en harina o granuladas. En el cuadro 2 se observan los efectos de la granulación sobre el coeficiente de digestibilidad del almidón de las habas en pollitos.

Cuadro 2. Efectos de la granulación sobre la digestibilidad de los nutrientes en pollitos de Vicia faba * (Lacassagne et al., 1986)

	CD aparente, %	
	Proteína	Almidón
Harina	73	81
Gránulo	77	92
Gránulo molido	76	-

*Media de 3 variedades.

2.2. Efectos físicos y derivados

La granulación facilita el manejo del pienso y mejora la productividad animal (Braude, 1972; cuadro 3). Efectos tales como mayor densidad, mejor fluidez y menor segregación y formación de polvo aportan beneficios que son independientes de las mejoras de naturaleza químico-mecánicas comentadas en el apartado anterior. La mejora en la presentación física influye positivamente sobre consumos, pérdidas y gastos energéticos y explica un porcentaje importante de las ventajas económicas atribuidas al proceso de granulación.

Cuadro 3. Influencia del proceso de granulación sobre la productividad en porcino (Braude, 1972)

	Número de ensayos	
	Δ PV	IC
Mejoría	39	48
Empeoramiento	2	1
Igual	16	7
Sin datos	-	1

Granulación e ingesta

La granulación mejora el consumo (Waldroup, 1983; Skoch et al., 1983b; Choi et al., 1986). El efecto es más consistente en aves, animales jóvenes y raciones de baja concentración energética (Fahey y Berger, 1987; Moran, 1989). La mayoría de las especies domésticas muestran una clara preferencia por el gránulo cuando se les deja elegir (Skoch et al., 1983b). Datos sobre este particular aparecen en los cuadros 4 y 5. En numerosas situaciones no es concebible la utilización de piensos en harina (conejos, peces, animales de compañía, rumiantes en extensivo, etc). El aumento en el consumo puede ser debido a causas tales como mayor palatabilidad (Nir, 1991), menos polvo (Mc Ellhiney, 1986) y mayor espacio digestivo disponible como consecuencia de la mayor densidad (Sutton, 1983). Al aumentar el consumo el animal tendrá más nutrientes disponibles para producción ya que las necesidades de conservación permanecen prácticamente constantes.

Cuadro 4. Influencia de la presentación del pienso sobre el consumo voluntario en porcino de 27 kg (Skoch et al., 1983a)

	Porcentaje del consumo total
Harina	3,2
Gránulo seco	78,8
Gránulo vapor	18,0

Cuadro 5. Efecto de la granulación sobre el consumo voluntario en lechones (Vanschoubroek et al., 1971)

Elección de pienso	Porcentaje de consumo de gránulo sobre total ingerido (gránulo + harina)	
	Destetados	No destetados
Permitida	79	82
No permitida	91	94

Ciertos ensayos, especialmente en porcino, muestran una tendencia inversa: es decir, mayor consumo con harinas que con gránulos (Vanschoubroek et al., 1971; Casteels et al., 1974). Hay varias razones que justifican estos resultados y que no invalidan los presupuestos básicos. Podríamos citar los siguientes:

a.- *Al granular, el pienso pierde humedad (hasta un 2-3%).* El animal comerá los mismos kg de pienso pero no de materia seca (Vanschoubroek et al., 1971).

b.- *Al granular podemos mejorar la digestibilidad del pienso y por tanto la energía digestible* (Por ejemplo: raciones a base de soja integral tostada). En este caso el consumo del pienso granulado disminuye pero no el consumo energético neto.

c.- *El lechón rechaza los piensos granulados.* En animales muy jóvenes se observa una cierta tendencia a iniciarse mejor en el consumo de harinas que de gránulos. Este efecto,

aunque real, es muy circunstancial ya que la tendencia se invierte rápidamente y a los pocos días ocurre lo contrario. Este cambio en la preferencia no es fácil que sea apreciado por el granjero.

d.- *El gránulo es de calidad inaceptable.* La falta de calidad es la causa más corriente de disminución del consumo de piensos granulados (Mc Naughton, 1984; Carlson, 1985). Conejos, broilers y lechones muestran preferencia por gránulos sin finos pero de consistencia blanda (Skoch et al., 1983a; Zatari et al., 1990). No es fácil producir gránulos que reúnan ambas características. Si el fabricante da prioridad a la carencia de finos pueden producirse gránulos decididamente duros que serán rechazados por el animal (Allred et al., 1957; Jensen y Becker, 1965; Vanschoubroek et al., 1971). El descenso en el consumo puede ser alarmante en el caso de pollitos en iniciación y lechones y gazapos en maternidad.

Si por el contrario el producto final lleva un alto porcentaje de finos pierde gran parte de las ventajas del granulado. El exceso de polvo provoca disminución del consumo y rechazo del pienso (Proudfoot y Hulan, 1982; Nixey, 1992; Nir, 1993). En el caso de las ponedoras, una modificación en la textura de las migas provocará un cambio de los hábitos de ingesta con modificación del consumo de pienso (Mateos, 1987).

e.- *El gránulo no tiene el tamaño adecuado.* Un tamaño excesivo provoca disminución del consumo, especialmente en conejos, broilers, lechones y animales jóvenes. El conejo corta los gránulos largos con lo que parte cae al suelo y se desperdicia.

Las aves son muy sensibles al tamaño del gránulo que debe adaptarse a la forma y dimensiones del pico. Es por tanto aconsejable que el tamaño aumente con la edad. Pollitos jóvenes a los que se suministra pienso mal migajado muestran preferencia por las partículas que mejor se adaptan a su pico. Los gránulos groseros y enteros se van acumulando en el comedero. A ojos del cuidador parece que el pollito discrimina los gránulos pero la causa es de naturaleza puramente física y evitable.

f.- *Las pérdidas de pienso no se controlan y se dan como parte de la ingesta.* Este tipo de situación es muy corriente en condiciones de campo y se comenta en el apartado correspondiente.

Un granulado idóneo, que tiene en cuenta la anatomía y fisiología de la especie a que va destinado mejora la ingesta. Este aumento es clave y explica gran parte de las mejoras atribuidas a la granulación (cuadros 6 y 7).

La integridad del gránulo junto a la consistencia no blanda del mismo en el momento de ser consumido por el animal son factores a tener muy en cuenta si queremos maximizar los beneficios del proceso. A mayor porcentaje de finos menores serán los beneficios (Waldroup, 1983; Moran y Ferket, 1984; Nir, 1993). Un gránulo de mala calidad que llega harinoso, sin consistencia, al comedero tiene un valor mínimo para el animal.

Cuadro 6. Influencia de la calidad del gránulo sobre rendimientos productivos en pavos (Carlson, 1985).

	Peso vivo (kg)			IC 0-24 sem.
	4 sem.	8 sem.	24 sem.	
Harina	0,87	3,23 ^a	15,8	3,31
Gránulo malo	0,90	3,30 ^{ab}	15,4	3,22
Gránulo bueno	0,91	3,36 ^b	15,5	3,18

Cuadro 7. Influencia de la calidad del gránulo sobre los índices productivos en pavos de 14 semanas (Proudfoot y Hulan, 1982).

Presentación	Peso vivo (g)	IC
Harina	5909	2,50
Gránulo ¹ : 0	6085	2,31
7,5	6057	2,35
15	6140	2,37
30	6061	2,37
60	6014	2,40

¹: Porcentaje de finos

Granulación y pérdidas de pienso

Las pérdidas de pienso son inferiores con gránulo que con harina. Ciertos trabajos (Casteels et al., 1970; Angulo et al., 1993) constatan un mayor consumo del pienso en harina sin que por ello mejoren los pesos vivos ni los índices de conversión. Probablemente se estén considerando las pérdidas (polvo, caída de comedero, desperdicio en agua) como parte de la ingesta verdadera.

En porcino, Tait y Beames (1988) valoran estas pérdidas en torno al 2,5% lo que representa de forma aproximada casi el 50% de las mejoras observadas en el índice de conversión con motivo de la granulación. En granjas viejas, con manejo deficiente y diseño de comederos inadecuados, este porcentaje podría llegar al 6-7%.

En avicultura es frecuente observar mayor suciedad en bebederos con piensos en harina. Las harinas se pegan más al pico con lo que parte se deposita en el agua cuando el animal bebe. Este mecanismo nos explica porqué las mayores diferencias entre gránulo y harina se da en raciones pulverulentas sin grasa añadida. La adición de grasa, aparte de mejorar la palatabilidad, ayuda a mantener unidas las partículas harinosas evitando pérdidas por formación de polvo.

Granulación y densidad del pienso

La granulación supone una compactación del pienso. En el caso de las aves el aparato digestivo tiene una capacidad de almacenamiento muy escasa. Además, en estas especies el

consumo voluntario viene regulado, al menos en parte, por factores de distensión del aparato digestivo por lo que con piensos granulados se aumenta la capacidad de ingesta. La compactación ayuda a explicar el mayor beneficio obtenido al granular raciones fibrosas, bajas en energía, en relación con raciones maíz-soja-grasa (Vanschoubroek et al., 1971; McNaughton y Reece, 1982; Moran, 1989). Al granular se compactan las harinas, se mejora la apetecibilidad de ciertos piensos y se permite que el animal mejore su capacidad de almacenaje y de ingesta.

Granulación e incremento de calor

La granulación disminuye los gastos energéticos relacionados con el consumo de pienso (Quemere et al., 1979; Moran, 1989). Los animales van menos al comedero y pasan menos tiempo comiendo con piensos granulados (Vanschoubroek et al., 1971; Scheideler, 1992). La menor actividad física y los menores gastos de extracalor se traducen en menores necesidades energéticas no productivas y por tanto en más nutrientes disponibles para producción (cuadro 8).

Cuadro 8. Influencia de la calidad del granulado sobre la productividad en broilers (Scheideler, 1992)

	Porcentaje de finos	
	25	75
Peso vivo (g) 2 sem.	430	430
5 sem.	1490 ^a	1450 ^b
7 sem.	2120 ^a	2070 ^b
Índice conversión (7 sem.)	2,08	2,13
Grasa abdominal (%)	3,11 ^a	2,60 ^b
Uso del tiempo disponible (%)		
Comiendo	3,8 ^a	7,6 ^b
Paseando	1,4	0,7
Descansando	89,2	85,5

Granulación y otros beneficios

Deaton (1992) observó una reducción en el peso de la molleja y de otros órganos digestivos en broilers que recibían pienso granulado en relación con los que consumían harinas (cuadro 9). Choi et al. (1986) ya habían observado el mismo efecto informando que la reducción era más notable en aves adultas. El granulado reduce la motilidad intestinal así como la carga de trabajo necesario para utilizar el pienso. Es pues de esperar que su consumo redunde en un menor desarrollo del aparato digestivo.

La granulación flexibiliza el trabajo del nutricionista disminuyendo el número de limitaciones en formulación. Además mejora la fluidez y manejo del pienso, evita desmezclas, permite mayor limpieza y sanidad y disminuye los costos de transporte y almacenaje. Aunque

su importancia económica es considerable no le dedicaremos más atención por no ser el objeto de la presente charla.

Cuadro 9.- Influencia de la granulación sobre el peso del aparato digestivo en aves (% del PV)¹ (Deaton, 1992)

	Granulado	Harina
Molleja	1,61	1,74
Intestino delgado	2,06	2,15

¹ Media de alimentación continua y discontinua.

2.3. Efectos sobre la carga microbiológica

La granulación disminuye la carga microbiana y la contaminación general del pienso (cuadro 10). El efecto es tanto mayor cuanto más agresivo es el proceso (Tabib et al., 1984; Pickford, 1992).

Cuadro 10. Influencia de la temperatura y de la granulación sobre el conteo de microorganismos (Pickford, 1992)

T °C	Conteo	
	Harina (x 10 ⁶)	Gránulo (x 10 ²)
70	0,3	5,4 x 10 ²
80	3,2	3,1 x 10
85	7,4	1,3 x 10
90	0,9	0,7
95	1,9	-

Recientemente ha aumentado el interés de procesar las harinas para eliminar la contaminación por salmonelas y otros organismos patógenos (Ekperigin et al., 1990; Leeson y Marcotte, 1993). La granulación agresiva ayuda de forma notoria a controlar la contaminación por enterobacteriaceas pero no las elimina (Edel et al., 1974; Cox et al., 1986; McCapes et al., 1989). El mayor efecto descontaminante tiene lugar en el acondicionador por la acción conjunta del vapor a presión y de la temperatura.

Debe tenerse en cuenta que la granulación no está diseñada para controlar la contaminación de forma radical. Si este es un objetivo prioritario deberemos sofisticar el proceso (uso de expander, extrusión, pasteurizador) y evitar la recontaminación posterior durante el transporte y el almacenaje.

3. INCONVENIENTES DEL PROCESO DE GRANULACION

A fin de mejorar la utilización de los macrocomponentes del pienso se van introduciendo día a día maquinaria y procesos cada vez más agresivos lo que crea una serie de

inconvenientes. Estos problemas, aunque de importancia inferior a los beneficios, deben ser tenidos en cuenta.

3.1. Granulado y estabilidad de los microingredientes

Cuanto más eficaz es el proceso de granulación en cuanto a mejora de la digestibilidad, eliminación de la contaminación microbiana e incremento de la calidad del gránulo mayor es el daño que sufren los microingredientes (Cowan, 1993).

Estos componentes son en gran parte moléculas complejas de naturaleza orgánica sensibles al medio ambiente. Humedad, calor y presión son entre otros factores desestabilizadores. El proceso de granulación aplica estos tres factores de forma coordinada durante un período de tiempo, potenciándose los efectos destructivos sobre los microingredientes. Tratamientos drásticos y agresivos favorecen la productividad animal; tratamientos suaves mantienen la estabilidad de los micronutrientes.

En producción práctica razones de mercado decantan el proceso hacia la primera opción siendo obligado o bien suplementar con cantidades extras de microproductos o bien utilizar presentaciones de mayor resistencia al medio. Procedimientos tales como encapsulado, recubrimiento, adsorción, formación de complejos, modificaciones de la estructura química y selección de estirpes en el caso de organismos vivos son de uso común en la búsqueda de mayor resistencia de los microingredientes al medio.

Estabilidad de las vitaminas

La mayoría de las vitaminas son compuestos activos que contienen abundantes enlaces y grupos susceptibles de reaccionar químicamente de forma rápida (Coelho, 1991).

Las vitaminas liposolubles son especialmente sensibles a la oxidación, la humedad y las temperaturas elevadas, siendo preciso protegerlas del medio ambiente. Adición de antioxidantes (Apelt, 1990), revestimiento con cubiertas protectoras (Putnam, 1989) y modificaciones de la estructura química (Coelho, 1991; Fenster et al., 1992) son varios de los métodos utilizados para estabilizar las vitaminas.

Las vitaminas del grupo B son más estables por naturaleza. Muchas de ellas no se protegen dada la alta relación costo: beneficio. La clave del método de protección es mejorar la estabilidad de las vitaminas sin afectar ni su digestibilidad ni su utilización metabólica.

La granulación muestra sus efectos más nocivos sobre las vitaminas A, C, K, ácido fólico, tiamina y cobalamina. Las vitaminas consideradas más estables son la niacina, la biotina y la riboflavina (Gadient, 1986; Putnam, 1989).

En los cuadros 11 a 14 se presentan datos recogidos de diversos autores sobre la estabilidad de ciertas vitaminas frente a la agresión del medio (Schulde, 1986; Gadient, 1986; Coelho, 1991; Pickford, 1992).

Cuadro 11. Influencia de las condiciones de granulación sobre la estabilidad vitamínica¹
(Coelho, 1991)

Temperatura (°C)	66	82	110
Tiempo en acondicionamiento (min)	2	2	2
Vitamina A	95	92	79
Meadiona, MPB	82	73	50
Tiamina Mononitrato	95	90	77
Vitamina C	75	60	35
Vitamina E acetato	99	97	95

¹Porcentaje retenido

Cuadro 12. Sensibilidad de las vitaminas a factores externos (Schulde, 1986)

Vitamina	Calor	Humedad	Oxígeno
A	+	0	+
D ₃	0	0	+
E	-	-/0	+/0
K	0	0	0
B ₁	+	0	-
B ₂	-	0	-
B ₆	0	0	-
B ₁₂	0	0	0
Acido pantoténico	0	+	-
Niacina	-	-	-
Biotina	0	-	-
Acido fólico	+	-	-
Vitamina C	0	0*	+

+: Muy sensible; -: Resistente; 0: Algo sensible;

*: Muy sensible según otros autores

Cuadro 13. Pérdidas vitamínicas según tipo de procesamiento
(Schulde, 1986 y Gadiant, 1986)

Vitamina	Pérdidas (%)	
	A	B
D ₃	-	0-20
A	12-88	10-20
E	7-86	0-5
C	0-87	30-60
B ₁	6-62	20-40
B ₂	0-40	0-5
B ₆	4-44	0-20
B ₁₂	1-40	20-50
Niacina	0-40	0-5
Acido fólico	8-65	20-50
Acido pantoténico	0-10	0-20
Biotina	3-26	0-5
Carotenoides	10-75	-

A: Extrusión B: Granulación y 3 meses de almacenaje

Cuadro 14. Pérdidas vitamínicas durante el proceso de granulación. Valores medios en el Reino Unido (Pickford, 1992)

Vitamina	Temperatura (°C)	
	70	90
A	10	30
D ₃	15	35
E	10	15
K	20	40
B ₁	15	50
B ₂	10	15
B ₆	10	30
Niacina	5	10
Acido pantoténico	10	10
Biotina	10	35
Acido fólico	20	45
B ₁₂	10	25
Vitamina C	40	85
Carotenoides	15	25

Crehan (1992) sugiere corregir los niveles de suplementación de vitaminas en función del tipo de procesado que van a sufrir las harinas (cuadro 15). En el caso de la vitamina K el factor de corrección es de 3 (tres veces el nivel normal) cuando el pienso se va a extrusionar a 170 °C durante 15 minutos.

Cuadro 15. Extrasuplementación de niveles vitamínicos según tipo de tratamiento (Crehan, 1992)

Método	Extrusión	Expander	Acondicionador
Temperatura (°C)	170	140	90
Tiempo (minutos)	15	12	5
Vitamina A	2,0	1,5	1,3
D ₃	1,5	1,2	1,15
E	1,25	1,1	1,05
K	3,0	1,8	1,4
B ₁	2,5	1,6	1,3
B ₂	1,1	1,1	1,0
B ₆	1,2	1,2	1,2
Niacina	1,1	1,1	1,1
Acido pantoténico	1,25	1,2	1,1
Biotina	1,25	1,2	1,1
Acido fólico	1,5	1,4	1,4
Vitamina B ₁₂	2,0	1,8	1,5
Carotenoides	1,5	1,3	1,2

Los efectos de la granulación sobre la estabilidad de la vitamina A han sido profusamente estudiados (cuadros 16 y 17). En condiciones prácticas las pérdidas por granulación se estiman entre el 4 y el 20% en función de la presentación, siendo las formas esterificadas las más estables (Jansen y Friedrich, 1985; Jones, 1986; Apelt, 1990). Procesos agresivos con predominio de la fricción mecánica pueden romper las cápsulas protectoras y dejar expuesta la vitamina a la acción de los agentes agresivos. La doble granulación y el reciclaje de finos supone una agravación de la situación con incremento de las pérdidas (Pickford, 1992).

Cuadro 16. Influencia de la temperatura de granulación y del tiempo de almacenaje sobre la estabilidad de la vitamina A (Pickford, 1992)

Granulado (°C)	Vitamina A retenida	
	Fábrica	60 días
70	96	91
80	99	89
85	90	86
90	85	75
95	88	72

Cuadro 17. Influencia de la tecnología y la temperatura sobre la estabilidad de la vitamina A (Pickford, 1992)

Temperatura salida ¹ (°C)		Pérdidas vitamina A (%)	
Expander	Granuladora	Salida de prensa	60 días
80	73	9	14
100	81	12	26
120	97	24	36

¹La humedad fue de 16,5% a la salida de la granuladora y del 13,0% a la salida del enfriador

En el cuadro 18 se ofrecen datos de Putnam (1989) sobre este particular.

Cuadro 18. Influencia de la doble granulación sobre la estabilidad de las vitaminas (Putnam, 1989)

	Porcentaje retenido	
	1º prensa	2º prensa
Vitamina A	78	68
Vitamina E	93	90
Vitamina B ₁	90	63

Por último es importante considerar la influencia negativa de un almacenaje incorrecto sobre la estabilidad. El problema se acentúa en el caso de vitaminas parcialmente desprotegidas (cuadro 19).

Cuadro 19. Pérdidas mensuales en correctores vitamínico-minerales¹ (Coelho, 1991)

	Colina	
	Presente	Ausente
Vitamina A protegida	8,0	1
Vitamina D ₃ protegida	6,0	0,6
Vitamina E acetato	2,4	0,2
Vitamina E alcohol	57	35
Menadiona bisulfito	38	2,2
Tiamina clorhidrato	17	0,5
Riboflavina	8,2	0,3
Biotina	8,6	0,3
Acido ascórbico	40	3,6
Colina	2,0	-

¹Porcentajes de pérdidas sobre el inicial

Estabilidad de los enzimas

La estructura tridimensional confiere a los enzimas sus propiedades físicas y su actividad catalítica. Como con cualquier proteína, el calentamiento tiende a deformar esta

estructura. Una elevación moderada de la temperatura no perjudica sino que incluso puede mejorar la actividad catalítica de las enzimas. Si la temperatura sigue aumentando llegamos a un punto donde se inicia la desnaturalización. Los sitios activos donde se sitúa la actividad se destruyen y el enzima pierde potencia y actividad (Lyons, 1992; Cowan, 1993). Ciertas enzimas comerciales aguantan sin pérdidas notables de actividad temperaturas de hasta 90 °C durante 30 minutos siempre que el medio sea seco (Cowan, 1993). Estas mismas condiciones con vapor húmedo desnaturaliza completamente a los enzimas (Campbell y Bedford, 1992).

Los preparados comerciales existentes incluyen el enzima y un sustrato adecuado. La dilución permite mejorar la dosificación y protege al enzima contra la desestabilización por humedad y temperatura. Los nuevos preparados aguantan temperaturas superiores a los 70 °C con pérdidas moderadas en procesos de granulación típicos (Pickford, 1992). A temperaturas superiores, como las que se aplican para el control de las enterobacteriáceas (>80-85 °C) la destrucción de enzimas puede alcanzar proporciones importantes. Datos sobre este particular pueden observarse en el cuadro 20. Aunque difícil de llevar a la práctica sería interesante que los productores de enzimas especificaran qué condiciones de procesamiento aguantan sus preparados sin pérdida de actividad.

Cuadro 20. Influencia de la temperatura sobre la actividad de enzimas sin estabilizar (Pickford, 1992)

Temperatura (°C)		Producto recuperado (%)	
Expander	Granulador	A	B
85	68	100	95
95	75	80	61
105	83	31	0

Estabilidad de antibióticos y otros aditivos

Numerosos antibióticos (nitrovin, bacitracina, robenidina, amprol, penicilina y tetraciclinas entre otros) pierden actividad cuando son sometidos a altas temperaturas, especialmente con aplicación de humedad y tras períodos largos de almacenaje (Van der Waals, 1973; Cohen y Schachar, 1988). La influencia del origen y de la presentación sobre la estabilidad es más que notable. Datos mostrando esta influencia han sido publicados por Cohen y Schachar (1988) para la clortetraciclina, Jansen y Friedrich (1976) y Sandvik y Hansen (1992) para la bacitracina, Hansen (1992) para la tilosina y Cooke (1984) y Johnston et al. (1990) para la penicilina. En este último antibiótico, por ejemplo, las pérdidas varían según el tipo de penicilina y la presentación de las partículas. Cuanto menor es el tamaño mayores son las pérdidas. En cualquier caso el proceso de degradación de la actividad se inicia a partir de los 70-75 °C.

Otro grupo de aditivos sensibles a la granulación es el constituido por los probióticos. En un test realizado por Michard (1991) sobre un total de 41 productos se observó que cerca de la mitad no tenían título detectable de organismos viables. El efecto destructor

del proceso de granulación crece exponencialmente con la temperatura y se hace más pronunciado con niveles altos de vapor. En general los Bacillus son más susceptibles que los Streptococos. Levaduras y bacterias presentes en forma de esporas suelen ser las más resistentes al medio (Yoncourt, 1989; Michard, 1991). Con procesos que utilicen temperaturas superiores a los 80 °C con vapor caliente es importante conocer y controlar la viabilidad de los probióticos a utilizar. Pigmentos carotenoides (Putnam, 1989; Crehan, 1992) y ciertas fuentes minerales (iodo, por ejemplo) son también susceptibles de perder su actividad ante procesos de granulación agresivos.

3.2. Granulación y costes económicos

La granulación no es sencilla ni es barata. Hoy en día, con las sofisticaciones exigidas pueden significar una parte importante del costo global de una fábrica de piensos. Dentro de los costos debemos considerar cuatro áreas:

- Costos de inversión.
 - Maquinaria, modificaciones, obras anejas.
- Costos de mantenimiento.
 - Recambios, reparaciones.
- Costos de funcionamiento.
 - Mano de obra, agua, fuel, electricidad.
- Costos por pérdidas.
 - Disminución de la humedad.

Todos ellos deben ser considerados en los estudios económicos del proceso de granulación. En los momentos actuales se estima un costo entre 400 y 800 pts por tonelada en función de factores tales como tipo de pienso, calidad exigida y volumen de fabricación.

3.3. Granulación y otros problemas asociados

Diversos autores (Lawrence, 1972; Hedde et al., 1985) indican que la granulación aumenta la incidencia de úlceras gástricas en porcino. El efecto podría ser debido a la molienda previa más que a la presentación en gránulo "per se" (Lawrence, 1985).

Sutton (1983) y Waldroup (1983) indican que la incidencia de canibalismo y picaje en aves es superior con piensos granulados que con piensos en harina. Las aves consumen más rápidamente el granulado con lo que les queda más tiempo libre para actividades "más o menos sociales" (McNaughton, 1984). Este mismo mecanismo podría explicar la mayor humedad de las heces en aves alimentadas con migas o gránulos. El extra tiempo disponible podría ser dedicado a consumir más agua de la necesaria (Mateos, 1987).

Numerosos informes de la literatura constatan una mayor incidencia de los problemas llamados metabólicos (ascitis, muerte súbita, etc) en broilers alimentados con gránulos. Otros trabajos (Casteels et al., 1970) detectan canales más grasas en cerdos alimentados con gránulo que sus compañeros que consumían harina. Estos efectos aparentemente negativos podrían

explicarse por el mayor consumo energético neto de los animales sometidos a dietas granuladas y desaparecerían reduciendo la concentración del pienso.

4. CONCLUSIONES

En resumen podemos concluir que el proceso de granulación mejora la productividad animal. El efecto es tanto más positivo cuanto más enérgicas son las condiciones aplicadas. Los piensos más favorecidos por la granulación son aquellos destinados a animales jóvenes ricos en materias primas fibrosas, leguminosas con almidón como hidrato de carbono de reserva y oleaginosas sin extractar. La calidad física del gránulo es fundamental y de ella va a depender que se consigan gran parte de los beneficios esperados del proceso de granulación.

5. BIBLIOGRAFIA

- Allred, J.B.; Fry, R.E.; Jensen, L.S. y Mc Ginnis, J. (1957) *Poultry Sci.* 36, 1284.
- Angulo, E.; Brufau, J.; Miquel, A. y Esteve-García, E. (1993) *Poultry Sci.* 72, 607.
- Apelt, J. (1990) *Feed Magazine* 1, 12.
- Behnke, K.C. y Fahrenholz, C. (1986) *Proc. Maryland Nutr. Conf.* 67.
- Braude, R. (1972) En: *Pig Production*. D.J.A. Cole (ed). Butterworths, London. pp: 279.
- Campbell, G.L. y Bedford, M.R. (1992) *Can. J. Anim. Sci.* 72, 449.
- Carlson, C.W. (1985) *Feedstuffs* 57 (11), 10.
- Carre, B.; Escartin, R.; Melcion, J.P.; Champ, M.; Roux, G. y Leclerc B. (1987) *Br. Poultry Sci.* 28, 219.
- Casteels, M.; Bekaert, H.; Eeckhout, W. y Buysse, F. (1970) *Revue de l'agriculture* 11-12, 1597.
- Casteels, M.; Bekaert, H.; Eeckhout, W. y Buysse, F. (1974) *Revue de l'agriculture* 3, 559.
- Coelho, M.B. (1991) *Feed International* 12 (12), 39.
- Cohen, R. y Schachar, B. (1988) *Poultry International* 27 (6), 60.
- Cooke, B.C. (1984) *Feed Compounder* 4 (10), 5.
- Cowan, W.D. (1993) *Feed International* 14 (5), 22.
- Cox, N.A.; Burdick, D.; Bailey, J.S. y Thomson, J.E. (1986) *Poultry Sci.* 65, 704.
- Crehan, M.P. (1992) *Heat treatment and processing of feed*. Nutec Ltd. Staffordshire, U.K. 7 pp.
- Choi, J.H.; So, B.S.; Ryu, K.S. y Kang, S.L. (1986) *Poultry Sci.* 65, 594.
- Deaton, J.W. (1992) *Poultry Sci.* 71, 1807.
- Douglas, J.H.; Sullivan, T.W.; Bond, P.L.; Struwe, F.J.; Baier, J.G. y Robeson, L.G. (1989) *Poultry Sci.* 68 Suppl. (1), 47.
- Edel, W.; Van Schothorst, M.; Guinee, P.A.M. y Kampelmacher, E.H. (1974) *Zbl. Bakt. Hyg., I. Abt. Orig. A* 226, 314.
- Ekperigin, H.E.; McCapes, R.H.; Redus, R.; Ritchie, W.L.; Cameron, W.J.; Nagaraja, K.V. y Noll, S. (1990) *Poultry Sci.* 69, 1595.
- Fahey, G.C. y Berger, L.L. (1987) *Proc. Minnesota Nutr. Conf. Urbana, Illinois*. pp: 22.
- Fenster, R.; Gadiant, M.; Schai, E. (1992) *Ingredients* 1 (3), 10.
- Gadiant, M. (1986) *Proc. Maryland Nutr. Conf.* pp: 73.
- Hansen, I.D. (1992) *Feed Magazine* 2, 10.
- Hedde, R.D.; Lindsey, T.O.; Parish, R.C.; Daniels, H.D.; Morgenthien, E.A. y Lewis, H.B. (1985) *J. Anim. Sci.* 61, 179.
- Huyghebaert, G. y De Groote, G. (1979) *Revue de l'agriculture* 32, 1243.
- Huyghebaert, G.; Fontaine, G.; De Groote, G. (1979) *Revue de l'agriculture* 32, 759.

- Jansen, H.D. y Friedrich, W. (1985) *Feedstuffs* 57, 44.
- Jensen, A.H. y Becker, D.E. (1965) *J. Anim. Sci.* 24, 392.
- Johnston, P.; Lavery, M. y Braidwood, J.C. (1990) *Pig Vet. J.* 24, 65.
- Jones, F.T. (1986) *Poultry Sci.* 65, 1421.
- Kan, C.A.; Scheele, C.W. y Janssen, W. (1988) *Anim. Feed Sci. and Tech.* 19, 97.
- Lacassagne, L.; Francesch, M.; Carré, B. y Melcion, J.P. (1986) *Anim. Feed Sci. and Tech.* 20, 59.
- Lawrence, T. (1985) *Pig Farming* 33 Suppl. 11, 60.
- Lawrence, T. (1972) En: *Cereal Processing and digestion*. U.S. Feed Grains Council. London, England. pp: 77.
- Leeson, S. y Marcotte, M. (1993) *World's Poultry Sci. J.* 49, 19.
- Lessire, M.; Leclercq, B. y Conan, L. (1988) *INRA Prod. Anim.* 1, 265.
- Lessire, M. (1992) *L'aviculteur* 536, 98.
- Lyons, T.P. (1992) *Feed Compounder* 12 (6), 22.
- Mateos, G.G. (1987) En: *III Curso de especialización: Nutrición y Alimentación de la gallina ponedora*. FEDNA, Madrid.
- McElhiney, R. (1986) *Feed Management* 37, 74.
- McElhiney, R. (1989) *Maryland Nutr. Conf.* pp: 90.
- McCapes, R.H.; Ekperigin, H.E.; Cameron, W.J.; Ritchie, W.L.; Slaughter, J.; Stangeland, V. y Nagaraja, K.V. (1989) *Advances in Feed Technology* 1, 38.
- McNab, J.M. (1992) *Proc. 53rd Minnesota Nutr. Conf.* pp: 242.
- McNaughton, J.L. (1984) *Poultry Digest* 43 (508): 254.
- McNaughton, J.L.; Reece, F.N. (1982) *Poultry Sci.* 61 Suppl. (1) 1512.
- Michard, J. (1991) *Feed International* 12 (11), 64.
- Moran, E.T. (1984) *Feed Management* 35 (10), 67.
- Moran, E.T. (1987) *Poultry Misset* Ap/May, 30.
- Moran, E.T. (1989) En: *Recent Advances in Animal Nutrition*. Butterworths, London, U.K. pp: 87.
- Moran, E.T.; Summers, J.D. y Jones, G.E. (1968) *Can. J. Anim. Sci.* 48, 47.
- Moran, E.T. y Ferket, P.R. (1984) En: *Proc. Guelph Nutr. Conf.* University of Guelph, Canada. pp: 12.
- Nir, I. (1991) *Selecciones Avícolas*. Oct, 699.
- Nir, I. (1993) *Poultry International* 32 (2), 58.
- Nixey, C. (1992) *Turkeys* 40 (2), 8.
- Nwokolo, E. y Sim, J. (1989) *Poultry Sci.* 68, 1374.
- Pickford, J.R. (1992) En *Recent Advances in Animal Nutrition*. Butterworths-Heinemann. pp: 177.
- Pichon, J. (1988). *Porc Magazine* 206, 64.
- Proudfoot, F.G. y Hulan, H.W. (1982) *Poultry Sci.* 61, 327.
- Putnam, M.E. (1989) *Feed Compounder* 9 (11), 20.
- Quemere, P.; Bertrand, G.; Pérez, J.M. y Seve, B. (1979) *11º J. Rech. Porcine en France*, 203.
- Richet, M. (1992) *Rev. Alim. Animal.* 454, 75.
- Robohm, K.F. y Apelt, J. (1987) *Feed Magazine*, 35.
- Salmon, R.E.; Stevens, V.I. y Ladbrooke, B.D. (1988) *Poultry Sci.* 67, 1731.
- Sandvik, R. y Hansen, I.D. (1992) *Feed Magazine* 2: 6.
- Scheideler, S.E. (1992) *Feedstuffs* 64 (5), 11.
- Schulde, M. (1986) En: *Extrusion Technology for the Food Industry*. C. O'Connor (ed). Elsevier Applied Science, London. pp: 22.
- Schultz, R. (1990) *Adv. Feed Technology* 3 (1), 6.
- Skoch, E.R.; Binder, S.F.; Deyoe, C.W.; Allee, G.L. y Behnke, K.C. (1983a) *J. Anim. Sci.* 57, 929.
- Subcomité Energia. WPSA. (1986) *European table of energy values for poultry feedstuffs*. Spelderholt. Wageningen. 24 pp.
- Sutton, Ch. (1983) *Poultry Digest.* 42 (500), 502.
- Tabib, Z.; Jones, F.T.; Hamilton, P.B. (1984) *Poultry Sci.* 63, 70.

- Tait, R.M. y Beames, R.M. (1988) En: *Feed Science*. Elsevier Science Publ. Amsterdam, Holanda. pp: 225.
- Van Der Waals, P. (1973) Tijdschrift Diergeneeskunde 98, 86.
- Vanschoubroek, F.; Coucke, L. y Van Spaendonck, R. (1971) Nutr. Abstr. Rev. 41, 1.
- Waaljenberg, A. (1987) American Soybean Association. Proc. Milan Congress. 24 pp.
- Waldroup, P.W. (1983) Zootecnica International Jul: 52
- Yoncourt, L. (1989) L'eleveur de lapins 24, 23
- Yuste, P.; Longstaff, M.A.; McNab, J.M. y McCorquodale, C. (1991) Anim. Feed Sci. and Tech. 35, 289
- Zatari, I.M. y Sell, J.L. (1988) Poultry Sci. (Abst.) 67: 175
- Zatari, J.M.; Ferket, P.R. y Scheideler, S.E. (1990) Poultry Science 69 Suppl. (1), 198
- Zinn, R.A.; Dunbar, J.R. y Norman, B.B. (1988) J. Anim. Sci. 66, 1335

FEDNA