

## **POTENCIAL DEL PROCESADO DE PIENSOS PARA INCREMENTAR LA CALIDAD Y LA CONSISTENCIA DE SU VALOR NUTRITIVO EN BROILERS**

Tom A Scott (PhD)

Research Chair in Feed Processing Technology

Department of Animal and Poultry Science

University of Saskatchewan, Saskatoon, Saskatchewan, Canada, S7N 5A8

[tom.scott@usask.ca](mailto:tom.scott@usask.ca)

### **1.- INTRODUCCIÓN**

La industria ganadera juega papel muy importante en la transformación de ingredientes de baja calidad en alimentos de alta calidad para el consumo humano. El procesado del pienso ha sido y seguirá siendo clave en dicha conversión. Para maximizar el valor del pienso se tiene que entender la variabilidad entre ingredientes y cómo éstos interaccionan con las distintas variables que son importantes en el procesado. El valor del pienso se define como los costes del pienso en relación a su efecto en el crecimiento animal (consumo, proteína animal y eficacia), salud y bienestar animal, calidad y seguridad alimentaria, sostenibilidad y conformidad legislativa. Uno de sus indicadores es la calidad del gránulo, en su amplia definición; evaluación de la interacción entre las condiciones de procesado y los ingredientes, y que juntos forman un gránulo que es capaz de mantener su forma generando una mínima cantidad de finos. Basada en esta definición, el 80% de la variabilidad en la calidad del gránulo se puede determinar antes de que el pienso sea producido (Reimer, 1992). Esto indica que parte de las pérdidas en la calidad del gránulo debido a la selección de ingredientes se pueden recuperar con modificaciones en las condiciones de procesado y/o con el uso de un aglomerante. Es importante señalar que maximizar la calidad del gránulo puede no necesariamente producir la optimización de la disponibilidad de los nutrientes y/o sustancias bioactivas.

Esta revisión se centra fundamentalmente en los aspectos importantes, relacionados con el pienso y su procesamiento, que influyen en la obtención de un gránulo de alta calidad. Granulación se define como “la aglomeración (o amasado) de pequeñas partículas (ej., pienso molido) en grandes (gránulos) a través de un proceso mecánico que combina humedad, calor y presión” (Falk, 1985 citado por Koster, 2004). Una de las valoraciones del pienso más extendidas se refiere a la calidad del gránulo y ésta es, a su vez, la valoración de la habilidad del gránulo para aguantar cierto grado de manejo sin generar excesivos finos (Behnke, 2001; Hemmingsen et al., 2008). Sin embargo, hay otros beneficios, distintos a la calidad del gránulo, que aconsejan granular correctamente el pienso de todos los animales:

- 1) Aumentar y mantener el consumo de nutrientes;
  - a) La granulación mejora la palatabilidad, sabor y textura del pienso, por lo tanto, mejora el consumo;
  - b) La granulación reduce las pérdidas por finos (en piensos de mala calidad se pierden entre un 1 y un 3% de los nutrientes en forma de finos). Esto explicaría la mejora del índice de conversión (Hancock, 2010); pero normalmente también hay mejoras en la digestibilidad de los nutrientes y ganancia de peso de animales monogástricos alimentados con piensos granulados;
  - c) Se produce una reducción de la selección de ingredientes en los piensos granulados; reduciendo así las pérdidas y la segregación de los nutrientes en el comedero;
  - d) Los animales rechazan menos el pienso cuando se cambian las materias primas que lo conforman por parte de los fabricantes de piensos, que continuamente cambian de fuentes de nutrientes.
- 2) Mejora la densidad nutritiva, importante para reducir costes de transporte;
- 3) Mejora la disponibilidad de nutrientes;
  - a) Reduce los factores antinutricionales (ANF) (ej., inhibidores de enzimas termolábiles; glucosinolatos).
  - b) Gelatiniza el almidón;
    - i) Skoch et al. (1983) y Svihus et al. (2004) demostraron que bajo condiciones normales de granulación, muy poco almidón se gelatiniza debido a que ni la temperatura ni la humedad son lo suficientemente altas como para conseguirlo; Skoch et al. (1983) indicaron que el “efecto almidón” se podría deber al daño producido durante el procesamiento y, en particular, durante el paso del pienso a través de la granuladora.

- ii) Thomas y Van der Poel (2001) indicaron que debido a retrasos en el correcto equilibrio agua-pienso, la superficie de las partículas podían tener suficiente humedad y calor como para producirse la gelatinización, mejorándose así la calidad y digestibilidad del gránulo. Yan-cong et al. (2011) estimaron que aproximadamente el 20% del almidón se gelatiniza durante la granulación.
  - c) Solubilidad y/o disponibilidad de proteína; proteína fermentable.
- 4) Reduce la energía utilizada en comer (aprehensión, especialmente en el caso de avicultura dónde el paso del pienso y agua por la boca es por gravedad, debido a su falta de estructura labial) y aumenta la eficacia debido al menor tiempo invertido en comer. Nir y Ptichi (2001) señalan que el tamaño del gránulo y su durabilidad aumentan en importancia a medida que el pollo crece. También mencionaron que las estirpes modernas son menos sensibles a la forma del pienso, potencialmente un indicador del incremento del apetito, para alcanzar un aumento de ganancia / requerimientos.
- 5) Reduce la actividad microbiana. Behnke (1999) indicó que aumentar la tecnología de procesado es obligatorio por motivos reguladores; uno de ellos es la reducción del riesgo de transmisión de los patógenos alimenticios vía pienso. Pero Behnke concluyó que en esas situaciones los cambios en el procesado (alta temperatura e incremento de tiempo) podrían tener poco efecto en mejorar la salud animal pero aumentar significativamente el coste del pienso, y podrían reducir la disponibilidad de nutrientes.
- a) Destrucción de semillas de malas hierbas y reducción de su transferencia a la tierra vía estiércol.
  - b) Destrucción de insectos y sus huevos, ayudando a reducir la propagación de infestaciones o re-infestaciones.
- 6) Sencillez de manejo (menos puentes/manejo en tolvas; menor segregación de nutrientes).
- a) Mayor densidad y mejor circulación reducirán los costes de transporte y espacio de almacén. Descenso de la huella de carbono.
- 7) Reducción de polvo. Consideración importante para problemas respiratorios, particularmente en trabajadores, caballos, cerdos y conejos.
- 8) Posible cambio en el proceso de digestión y velocidad de tránsito, digestión más rápida, etc. (Hancock, 2010).

Se estima que a nivel mundial más de un 90% de los broilers (y pavos) son alimentados con piensos granulados (Nir y Ptichi, 2001). En EEUU se granulan aproximadamente un total de 60 millones de TM de pienso para broilers. Recientemente en

algunos países (ej., Bélgica, Scott, observación personal) los broilers se alimentan con pienso en harina, en parte para reducir costes, pero también para reducir la velocidad de crecimiento y reducir así las enfermedades metabólicas (ascitis, muerte súbita y problemas esqueléticos). En las granjas donde se usan piensos en harina, el tamaño de partícula toma especial relevancia, prefiriéndose las partículas grandes, incluyendo hasta un 40% de grano entero. En porcicultura son habituales las mezclas en granja sin que haya tratamiento hidrotermal, por lo que las dietas no son granuladas. Sin embargo, un total del 40-60% de los piensos para cerdos son granulados, porcentajes en aumento (Hancock, 2010) junto con el aumento en el número de integraciones. Los rumiantes a veces se alimentan con un suplemento granulado; sin embargo, esto puede incluir los cubos de forraje. Thomas y Van der Poel (2001) indicaron que de los más de 15 millones de TM de pienso fabricados en Holanda, el 85 al 90% son granulados o expandidos.

Los costes del procesado de pienso varían entre 3 y 9 \$/TM (de un 1 a un 5% de los costes del pienso, dependiendo del valor de las materias primas, etc.). Kulig y Laskowski (2009) estimaron que la granulación puede suponer hasta un 60% del coste total de la energía usada en el proceso de fabricación de pienso. Los costes de granulación parecen estar directamente relacionados con la calidad del gránulo y su durabilidad. Las integraciones tienden a centrarse más en el rendimiento de fabricación que en la calidad del gránulo, produciéndose un total del 25-40% de gránulos intactos; mientras que las fábricas no integradas se centran en producir más de un 95% de gránulo intacto. Plattner y Rokey (2009) notaron que en ambos, el rendimiento y la calidad del gránulo han aumentado con el paso del tiempo; consecuencia directa de una mejora en la tecnología y un incremento en el conocimiento de los factores que influyen en la obtención de un gránulo de buena calidad. Un técnico de campo de una de las fábricas de pienso más importantes de Holanda comentó que gastaba aproximadamente un 70% de su tiempo evaluando la calidad del gránulo para mantener así la satisfacción del cliente.

La calidad del gránulo es importante, pero es difícil equilibrarla (ej. durabilidad y/o finos) en relación a la eficiencia animal y/o la seguridad del pienso, y ser capaz de asegurarla de forma consistente con el uso de diferentes ingredientes. Cavalcanti y Behnke (2005a, b) redujeron las diferencias entre ingredientes hasta el nivel de “nutrientes” (almidón, proteína, fibra y grasa) y los usaron a distintos niveles para ver su influencia en la calidad del gránulo. Sin embargo, la fuente de almidón, por ejemplo, puede variar dependiendo de su origen (genética, condiciones de crecimiento) e interaccionar con las condiciones de procesado (grado de gelatinización y retrogradación). Wood (1987) considera que las condiciones de granulación pueden desnaturalizar la proteína y reducir su disponibilidad. Buchanan et al. (2010) indican que son pocos los estudios que relacionan directamente procesamiento y materias primas. Nathier-Dufour et al. (1995) no

encontraron un impacto del origen del grano en la compactación de 17 fuentes de trigo molido. Sin embargo, en su estudio sólo se utilizó un tamaño de partícula y no se aplicó acondicionamiento del pienso previo a la compactación y medida. Mollah et al. (1983) sugirieron que el procesado de dietas en base a trigo podría ser beneficioso para piensos con baja digestibilidad del almidón, pero en su estudio, en el que se hizo una molienda fina y se acondicionó la mezcla previa a granulación, no se pudo comprobar la hipótesis de un aumento de la digestibilidad del almidón en dietas de baja EMAn.

## 2.- INTERACCIÓN GRANULACIÓN-TRIGO

Durante el periodo 1992 a 2003 nuestro laboratorio de Agricultura y Alimentación de Canadá desarrolló un protocolo para determinar la variabilidad de los nutrientes y la biodisponibilidad de diferentes cereales (fundamentalmente trigo y cebada), con o sin diferentes aditivos o procesos, en broilers jóvenes. Durante ese periodo, se testaron aproximadamente 4.000 dietas en pollos jóvenes (machos, de 4 a 17 ó 21 días) alimentados *ad libitum*. Las dietas se formularon para contener entre un 70-80% del cereal testado, la dieta basal se formuló con aislados de proteína, aceite vegetal, y microingredientes (incluyendo tierra de diatomeas (Celita™) como marcador indigestible) para cubrir las necesidades de los animales a un nivel común de inclusión de cereal – se asumieron excesos de nutrientes en la mayor parte de los casos. En base a estos estudios pudimos establecer niveles de nutrientes, consumo y retención o digestibilidad, crecimiento y eficiencia. Una de las críticas más serias a este trabajo fue que las dietas no estaban granuladas. La crítica es correcta; sin embargo, nuestra opinión es que si no se controlaban suficientemente bien las condiciones de procesado, que pudieron ser distintas entre muestras, las conclusiones obtenidas podrían ser erróneas. Además, no hay evidencia de que cada cereal responda de la misma forma frente al mismo procesado si todos los factores pudieran controlarse igualmente en todos los casos.

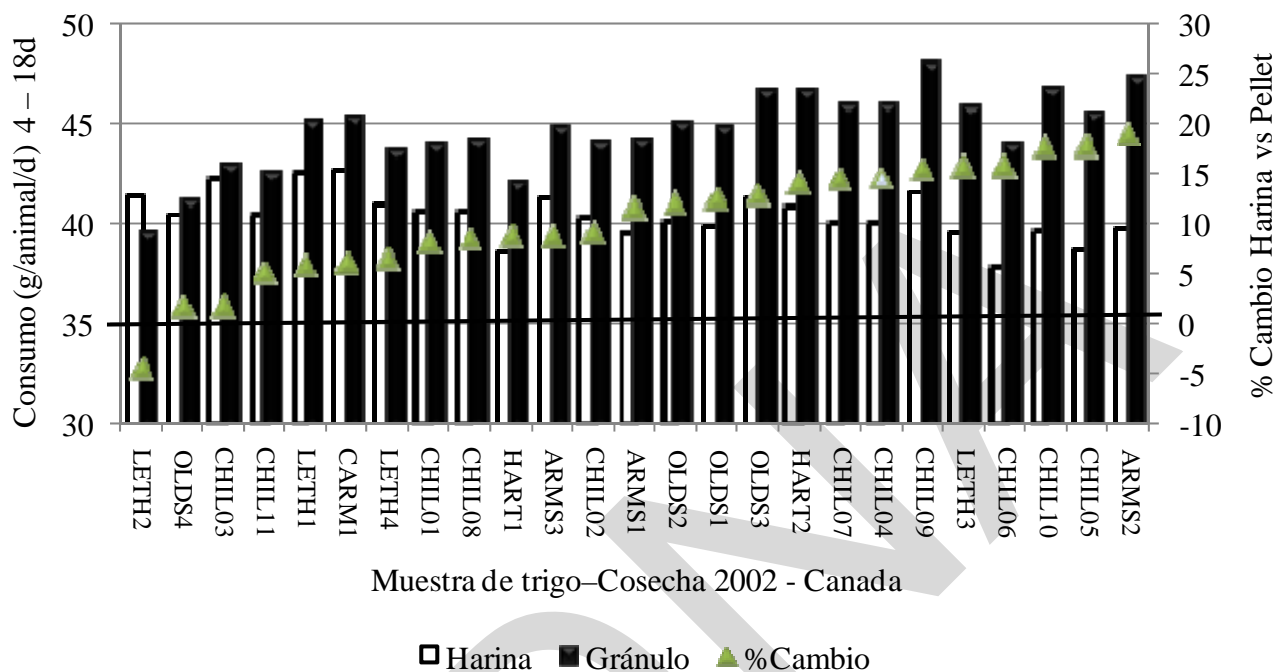
En un estudio, Scott (2005) midió la respuesta de 25 muestras de trigo (cultivados en el oeste de Canadá en 2002, uno de los años de cultivo más seco de los registros) a la granulación y/o el uso de enzimas.

- Las variaciones en las propiedades físico-químicas de los granos fue alta:
  - La densidad (peso de 1000 granos) varió de 27 a 50 g;
  - RVA (grado de germinación) varió entre 58 y 413; y
  - El contenido de proteína (en MS) varió entre 12,2 y 19,9%.

- Cada muestra fue molida y una parte fue granulada y remolida (para eliminar el efecto de la forma del pienso; p.ej. forma del gránulo, y medir el impacto de los cambios físico-químicos).
- Cada parte fue después ofrecida (dietas con 80% trigo) con o sin enzimas que hidrolizan polisacáridos no amiláceos (100 dietas en total) *ad libitum* a un box de 6 machos broiler entre los días 4 y 18 de vida.
  - El estudio se repitió 4 veces consecutivas con diferentes pollos para obtener suficiente número de réplicas.
- La granulación y/o la adición de enzimas mejoró el crecimiento, pero las respuestas fueron inconsistentes debido a diferencias en los parámetros físico-químicos de las muestras de trigo.
  - En general, la granulación mejoró el peso en un 14%; pero con importantes variaciones en función del tipo de trigo de cada dieta (entre un 4-19%).
  - Se observaron grandes diferencias en resultados zootécnicos en respuesta a la granulación entre tipos de trigo, pero esto no demuestra que esas diferencias existieran si el procesado hubiera sido optimizado para cada muestra de trigo.
  - En base a esos resultados es verosímil que se abra una oportunidad para definir las condiciones óptimas de procesado en base a las condiciones físico-químicas de los granos. En este supuesto, métodos de valoración rápidos, como el NIR en línea, podrían ser de interés.

La figura 1 muestra las diferencias en consumo de pienso (g/animal/d) de machos broilers entre los 4 y 18 días de vida cuando fueron alimentados con dietas basadas en 25 trigos distintos en harina o con el trigo molido, granulado y remolido. Todas las dietas fueron suplementadas con xilanasas. Los trigos fueron escogidos en función del cambio en consumo que produjeron cuando se ofrecieron en dietas en harina frente a gránulo. No hubo correlación ( $r^2 < 0,01$ ) entre el consumo de los animales alimentados con los distintos trigos granulados o no granulados pero la variación en el consumo fue de entre un -4,5 y un 19% según el trigo. El consumo medio de las 25 dietas en harina fue de 40,5 g/animal/día, variando los valores entre 37,98 y 42,78 g, que equivale a una diferencia de 12,7% entre el menor y la mayor de las medias. Para el trigo granulado con enzimas, la media fue de 44,70 g/animal/día, entre 39,62 y 48,08 g, un 21,4% de diferencia. El consumo de dietas en harina en base a trigo correlacionó positivamente ( $r^2 = 0,57$ ) con el peso y obtuvo una modesta correlación ( $r^2 = -0,21$ ) con la EMA medida en la excreta el día 16 de vida y con cenizas insolubles como marcador. Para las dietas en base a trigo granuladas, la relación con el consumo fue elevado ( $r^2 = 0,91$ ) y no hubo correlación ( $r^2 = 0,04$ ) con la EMA.

**Figura 1.- Consumo (g/animal/día) de machos broiler entre 4 y 18 días de vida alimentados con dietas en base a trigos molidos (harina) o molidos, granulados y remolidos (gránulo)**



Un estudio similar a este trabajo había sido realizado previamente (Scott et al., 2003). Sin embargo, debido al número de dietas, las 12 dietas con o sin enzimas fueron ofrecidas en harina en una prueba y las dietas con el trigo granulado se ofrecieron en otra prueba diferente. Se observaron resultados positivos de las enzimas y/o del procesamiento en el consumo y los parámetros zootécnicos de los animales. Las fuentes de trigo representaban 6 tipos de trigo distintos, y como en estudios previos, el *durum* (el trigo más duro, usado para pasta) no respondió al uso de enzimas y se vio muy poco influenciado por el procesado. Los trigos *durum* tienen muy poca cantidad de polisacáridos no amiláceos solubles. Como en el estudio anterior, se observaron grandes diferencias en el consumo entre tipos de trigo, y aunque éste aumentó con el procesamiento, se mantuvo una alta variación según el tipo de trigo usado. Scott (2000) observó resultados significativamente diferentes cuando el trigo de las dietas testadas fue granulado o auto-clavado, fundamentalmente debido a diferencias en las condiciones de procesamiento (humedad, temperatura, tiempo y presión). Se encontró una interacción (Scott, 2000) entre la variedad de trigo y el procesado sobre el peso de los animales, la conversión alimenticia, y la EMA determinada, pero no en el consumo. Como en los otros casos, el ranking del valor del pienso en función del trigo cambio con la granulación. Se concluyó que el auto-clavado no es útil para simular las condiciones de procesamiento relevantes en la granulación. Allend y McCracken (1995) no observaron efectos del procesamiento por calor en un tipo de trigo y resultados moderadamente negativos en un segundo tipo. Francesch et al. (1994)

concluyeron que los efectos de la granulación en la EMA de diferentes variedades de cebada eran inconsistentes y dependían de la cebada y la enzima utilizada.

Los estudios de Scott (2003, 2005) demuestran que:

1. Granular dietas en base a trigo y ofrecerlas remolidas incrementa el consumo un 10.3% como media, cuando las dietas son suplementadas con enzimas.
2. Existe una alta variabilidad en el consumo de pienso entre 25 muestras distintas de trigo cuando el trigo de la dieta fue utilizado en harina (variación 12,7%) o granulado y remolido (variación 21,4%).
  - a. Incrementos en el consumo con la granulación no fueron consistentes con las muestras individuales.
  - b. En un caso, la granulación redujo el consumo.
  - c. Las muestras de trigo que produjeron el consumo más bajo en harina (figura 1) tendieron a tener las mayores mejoras cuando el trigo fue granulado y remolido previo a la granulación.
  - d. No hay correlación entre el consumo de trigo granulado y sin granular.
  - e. La variación se incrementó con la granulación.
3. El consumo de pienso estuvo positiva y altamente correlacionado con el peso de la animal, la relación fue máxima con las dietas granuladas y remolidas ( $r^2=0,91$ ).
4. El consumo no se correlacionó bien con las determinaciones de EMA basadas en la recogida de excreta (o digesta ileal) de las mismas dietas. Posibles explicaciones son:
  - a. Los animales no consumen en base a las necesidades energéticas y el consumo del pienso puede ser limitante?
  - b. Los animales no digieren totalmente las dietas cuando el consumo voluntario no es limitante?

El estudio demuestra claramente que en los ensayos destinados a determinar el valor alimenticio de los cereales, las dietas utilizadas deben ser tratadas (procesadas) de igual forma a como lo hace la industria. Sin embargo, esto también es un error debido a que: a) la industria no usa solamente un proceso o combinación de procesos en la granulación; y b) podría no ser posible procesar los 25 trigos de forma idéntica y la mayor variación en las muestras granuladas pueda ser un reflejo de esto o de la interacción entre las condiciones de procesado y las muestras individuales. Los cambios más altos en el consumo con la granulación tendieron a observarse en aquellos trigos que resultaron en un



menor consumo sin granular. ¿Podría esto significar que la granulación *per se* reduce la restricción del consumo de esos trigos?. ¿Implica esto que cuándo la granulación aumenta el consumo, los pollos no necesariamente digieren las dietas?. Esto tendría un efecto directo en la medida de la EMA que podría variar, dependiendo de la velocidad de tránsito, reflujo y grado de digestión obtenida. Scott et al. (2001) observaron que en algunos casos una mínima restricción (aproximadamente del 5%) redujo significativamente la velocidad de tránsito e incrementó la retención de nutrientes cuando el consumo fue excesivo.

### 3.- VARIACIONES EN LAS CONDICIONES DE PROCESADO Y EQUIPOS

Está claro que necesitamos abordar algunas cuestiones en relación con las interacciones entre los ingredientes de la dieta y las condiciones de procesado e ir más allá de la valoración de la calidad del gránulo, relacionándolas con el rendimiento de los animales y la capacidad de utilización de los nutrientes. En el caso de los broilers, mi hipótesis es que el consumo voluntario de pienso es importante, si se ve limitado debido a algún factor fisicoquímico, entonces el crecimiento se verá limitado y el índice de conversión empeorará, ya que la mayoría del alimento se utilizará para mantenimiento. En los casos en que el consumo no está limitado, los broilers pueden elegir sobreconsumir y no digerir la dieta completamente, pero en general consumirán suficientes nutrientes para alcanzar un buen crecimiento; sin embargo, el índice de conversión también empeorará debido a una mala retención de nutrientes.

Koster (2003) realizó varias observaciones interesantes sobre la importancia de la granulación para broilers y pavos con un potencial de crecimiento cada vez más rápido. En particular, estas aves tienen cada vez menor capacidad relativa en el tracto digestivo, por lo que aumentar el consumo de pienso y mejorar los procesos de digestión y absorción de nutrientes puede ser un factor limitante (Scott, 2010). Será importante que los tecnólogos, nutricionistas y etólogos entiendan el efecto de la forma física del pienso en el comportamiento alimenticio y sus interacciones con el consumo de pienso, digestibilidad y utilización de los nutrientes para la producción de proteína animal. Basado en datos antiguos (y en aves con menor capacidad de crecimiento), Koster (2003) estimó que por cada 10% adicional de finos hay una pérdida de un punto en conversión. Koster también reportó lo difícil que es correlacionar los “finos” con los rendimientos de los animales ya que los niveles de finos pueden cambiar drásticamente con la manipulación y, por ello las mediciones de calidad de gránulo que incluyen un cálculo de la durabilidad son cada vez más frecuentes. Basado en el estudio presentado arriba (Scott, 2005), el efecto de la forma del gránulo se eliminó volviendo a moler el trigo granulado antes de mezclar los piensos, y aun así se consiguió una mejora global de rendimientos del 10%. Se debería resaltar que

en el presente estudio no hubo restricciones en el acceso a los comederos, había 6 aves por box con 50 cm de longitud de comedero, y que se observó que los pollos permanecían en el comedero (no necesariamente comiendo) menos del 10% del tiempo. Esto podría sugerir que las diferencias en consumo de pienso estaban asociadas con la velocidad de tránsito en el digestivo más que con la restricción de acceso al comedero, al menos bajo estas condiciones experimentales.

Aunque basado en observaciones eventuales en el campo, es posible fabricar gránulos “demasiado duros” y esto puede influir negativamente en la rotura (ej., absorción de agua) en el intestino y en último término limitar el consumo (Scott, sin publicar). Bouvarel et al. (2009) revisaron trabajos previos que sugerían que los pollos dejan bastantes gránulos duros sin consumir. Su propio estudio indicó que en ensayos de preferencia a corto plazo (no en los estudios a largo plazo) las aves expuestas previamente a texturas de pienso y niveles de nutrientes diferentes elegirían preferentemente dietas de alta energía y en particular aquellas con gránulos duros. Las dietas altas en energía normalmente contienen mayores niveles de grasa, esto puede disminuir la durabilidad del gránulo (un estimador de la dureza) a no ser que las condiciones de procesado sean más severas para compensar el tipo de dieta producida, pero esto también afecta al olor, gusto y color del pienso, todos ellos factores que afectan al consumo.

Koster también especula sobre que dado que el procesado puede aumentar la energía disponible, esto puede imponer la necesidad de re-evaluar los requerimientos nutritivos de varias clases de ganado. Koster puso el ejemplo de que si el índice de conversión se mejora un 10% con el granulado, entonces la lisina por ejemplo, debería aumentarse a 1,43% en piensos en gránulo frente a un 1,30% en piensos en harina. Nir y Ptichí (2001) observaron que los piensos granulados disminuían numéricamente la amilasa en el páncreas y de forma significativa la tripsina en el páncreas, y la amilasa y tripsina en el quimo intestinal. Opinaban que estas diferencias eran consecuencia del aumento de la digestibilidad del almidón y la proteína como consecuencia del procesado. También citaron un trabajo *in vitro* antiguo (Delort-Laval y Mercier, 1976) en el que la amilasa liberaba 4,5 veces más azúcares reductores en maíz granulado que en maíz molido (sin granular). Reducir la producción de enzimas para la digestión puede resultar en mejoras adicionales en la utilización de proteína y energía para la deposición de músculo. Beyer et al. (2000) señalaron también que mucha de nuestra información sobre requerimientos nutricionales de los animales está basada en piensos en harina y que se podría haber generado información más valiosa si los piensos hubieran sido, por ejemplo, granulados. Sin embargo, habiendo sido responsable de la elaboración de muchísimos datos sobre disponibilidad de nutrientes basados en piensos en harina, la decisión se basó en la dificultad de generar condiciones de granulación constantes para todos los granos – o aún

de más interés, la obtención de las condiciones correctas de procesado para cada grano en particular. Debemos primero conocer las interacciones entre los granos y el procesado antes de que podamos maximizar de manera más sistemática los rendimientos de los animales con los piensos procesados.

Se han establecido muchos factores que también influyen en la calidad y la durabilidad del gránulo:

1. Las características de las semillas son muy variables y las definiciones de calidad muy difíciles de estandarizar; además, se sabe que hay pérdidas significativas (Figuroa et al., 2011) durante la cosecha, almacenamiento, acondicionamiento y molienda. El acondicionamiento es un medio importante de “estandarizar” el comportamiento de las semillas durante la molienda. Sus trabajos indicaban que la genética, estructura de la cariopsis y el contenido en humedad eran los factores más importantes que afectaban a la dureza mecánica de las semillas y, por tanto, a la calidad de la molienda. El grado de elasticidad de las semillas se veía reducido significativamente con el acondicionamiento.
  - a. Las diferencias en el comportamiento reológico de los ingredientes se señaló como un área en el que se había realizado muy poca o ninguna investigación en relación con la calidad de los gránulos (Thomas et al., 1998). Sin embargo estos parámetros están extensamente estudiados en la industria alimentaria (panadería, fideos, pasta o gelatinas) para ingredientes parecidos. Esto incluye la evaluación del comportamiento de relajación (similar a la re-cristalización) que depende de la elasticidad, viscosidad y fibra – de alguna manera dependientes de la cantidad y tipo de humedad (ej., agua libre frente a agua ligada). Thomas et al. (1998) también indicaron que los parámetros químicos usados en la industria del almidón o para aumentar la compactación de biomasa (ej., NaOH, ácidos) pueden ser de importancia para aumentar la calidad / durabilidad del gránulo (revisión completa: Kaliyan y Morey, 2009).
2. La reducción del tamaño de partícula cuando se va a granular el pienso, se realiza normalmente con molinos de martillo. Sin embargo con molinos de rodillos se puede alcanzar una reducción del tamaño de partícula similar con un ahorro de energía del 15 al 40% (Richert et al., 2007). Estos investigadores resaltaron que la diferencia en eficiencia entre los equipos usados para reducir el tamaño de partícula disminuye si se requieren tamaños inferiores a 700  $\mu\text{m}$  – y normalmente este sería el tamaño elegido para la granulación.

- a. Los rodillos deben configurarse para transmisión diferencial, de modo que un rodillo gire de un 50 a un 75% más deprisa que el otro para producir un efecto cizalla que corte las semillas en lugar de triturarlas.
  - b. El diseño del corrugado del rodillo es importante y se debe adaptar al material que va a ser molido. Se recomiendan ente 8-10 estrías/pulgada para el maíz, 10-12 para trigo, cebada y avena y 12-14 para el sorgo.
  - c. El número de rodillos se puede adaptar de modo que cada paso consecutivo proporcione una mejora en la reducción de partícula – estos sistemas están diseñados para tener 1, 2 o 3 pares de rodillos.
3. Nuevas modificaciones en los molinos de martillos facilitan el cambio automático de las parrillas (Ziggers, 2011) lo que, a su vez, facilita enormemente la flexibilidad a la hora de adaptar el tamaño de partícula al material a moler. Un factor en el que estamos muy interesados es en el uso de tecnologías de análisis rápido en tiempo real (ej., NIR) para predecir las condiciones óptimas de procesado necesarias para diferentes fuentes de ingredientes/dietas.
4. Para los granos de cereales con alto contenido en cascarilla se propone una combinación de molienda con molino de martillos y rodillos (ej., avena y/o cebada; Lucht, 2011). Si estos materiales se muelen primero con molino de martillos y luego con molino de rodillos el tamaño de partícula es más uniforme y no excesivamente fino y el flujo del material mejora a lo largo del proceso. También mejora la trituración de la cascarilla lo que puede influir en la durabilidad del gránulo y en la digestibilidad. Se estima que la energía consumida por la combinación de molino de martillo y de rodillo es un 30% menor que si se usan dos molinos de martillo.
5. Behnke (2001) indica que los piensos para avicultura se muelen normalmente a 250  $\mu\text{m}$  para aumentar la estabilidad de los gránulos en el agua. La combinación de tamaño de partícula pequeños y condiciones de alta temperatura a tiempos más largos produce gránulos con mayor durabilidad en el agua. ¿Qué ocurriría si hiciéramos lo mismo en un pienso para avicultura?.
6. Las granuladoras modernas están equipadas con ajuste automático de rodillos (Froetschner, 2007). La distancia entre los rodillos y la matriz afecta significativamente la mezcla y el acondicionado, pero también la energía necesaria para formar los gránulos. Al aumentar la distancia, se requiere más energía para forzar la harina a través de la matriz, y el aumento de presión y el calor generado aumenta la durabilidad del gránulo.
  - a. Los requerimientos de energía específica (la energía aprovechada por el motor de la granuladora) aumenta con la calidad del gránulo. Payne (2004)

- concluyó a partir de un gran número de estudios que para producir gránulos con una durabilidad aceptable (ej. índice Holmen > 95%) para aves, cerdos, rumiantes, peces y gambas, la energía específica debería ser 10, 12-15, 20-25, 12 y 12 kWh/t de pienso.
- b. La doble granulación es efectiva para aumentar la calidad del gránulo en dietas con alto contenido en fibra o grasa (revisión de Kaliyan y Morey, 2009). La primera prensa utiliza una matriz fina y luego el pienso pasa por una segunda prensa con una matriz más gruesa. Estimaron que la energía necesaria para hacer doble granulación podría aumentar en 8-13 kWh/t.
7. Hancock (2010) revisó el uso de aglomerantes para aumentar la calidad/durabilidad del gránulo. Hay varios tipos de aglomerantes: lignosulfonatos (subproductos de la industria del papel, y potencialmente del procesamiento de celulosas para la producción de biodiesel; L. Tabil, ingeniero de bioprocesos, comunicación personal, 2011), bentonita de calcio y sodio (extraída de depósitos de arcilla), extractos de hemicelulosa (subproducto de la producción de cartón), y productos de almidón modificados (almidón de cereales gelatinizado). Hancock indica que hay poca información publicada sobre los niveles de inclusión más eficaces para optimizar la calidad del gránulo, de cada uno de los aglomerantes. Sería necesario testarlo con dietas diferentes y confirmar que realmente tienen una influencia positiva sobre el rendimiento y la salud de los animales. Como se ha discutido previamente, algunos aglomerantes podrían efectivamente diluir la dieta ya que no tienen valor nutritivo.
8. Vapor. Para añadir vapor se necesita una caldera y existen factores relativos a la construcción y funcionamiento de este equipo que pueden influir sobre la calidad del gránulo (Thomas et al. 1997; Bigliani, 2007). Se emplean tres tipos de vapor: húmedo (vapor con una cantidad importante de gotas de agua); saturado (toda la humedad es vapor) y sobre-calentado (vapor con un exceso de temperatura para una determinada cantidad de humedad). Thomas et al. (1997), en una revisión de otros autores que habían estudiado fábricas de piensos, indicaron que menos del 25% de las fábricas tenían un sistema correcto de adición y utilización de vapor para optimizar la nutrición, seguridad alimentaria y calidad del gránulo.
- a. El uso de expanders como parte del proceso de acondicionado aumenta la flexibilidad para emplear ingredientes que pueden mejorar la calidad del gránulo por sus condiciones de expansión y tiempo (Thomas et al. 1997) En la revisión de Kaliyan y Morey (2009) se concluyó que, para la relativamente pequeña mejora en la calidad del gránulo que se consigue con la expansión, los gastos energéticos eran excesivos, considerando que el

- expandido necesita 4 veces más energía eléctrica que el proceso de granulado.
- b. Una presión de vapor elevada puede mejorar la calidad del gránulo de materiales en los que se necesita incorporar poco agua y se consigue una durabilidad más alta por la desnaturalización de las proteínas (Kaliyan y Morey, 2009). La presión de vapor utilizada en la industria puede variar entre 7 y 700 kPag.
  - c. La humedad y el calor del vapor son elementos esenciales para aumentar la eficacia de los aglomerantes (Kaliyan y Morey, 2009). Estos autores indican que se han empleado más de 50 aglomerantes orgánicos e inorgánicos para compactar. Sería necesario una autorización legal para su uso en piensos, como ocurre con la biomasa para la energía.
  - d. Los maduradores se describen como equipos de acondicionamiento (que pueden o no incorporar vapor) que facilitan un marcado aumento de la temporización para pre-acondicionar la mezcla. Esta temporización varía entre 15-30 minutos y se utiliza para piensos con tamaño de partícula grosero o con un contenido alto de líquidos (Kaliyan y Morey, 2009), presumiblemente para permitir a los líquidos penetrar de forma más uniforme en el pienso. Adiciones elevadas de humedad (> 10%) pueden compactar la mezcla de forma importante y taponar las matrices.
9. Froestschner (2007) revisó la importancia de la velocidad del sistema matriz/rodillos. En algunos equipos, ésta se puede regular y, dependiendo de la formulación (ej., que contribuya a mejorar la calidad del gránulo), la velocidad de la matriz se puede aumentar para elevar el rendimiento de granulación y reducir los gastos energéticos. Se necesita alcanzar un equilibrio entre la velocidad de la matriz y la calidad del gránulo, pues un aumento de la velocidad disminuye la contribución de la matriz a la calidad del gránulo. Un aumento de la velocidad de la matriz reduce la compresión y resulta en más “capas” de alimento en cada gránulo, que pueden convertirse en puntos de rotura que empeoren la calidad del gránulo.
10. Cuchillas, (Miladinovic, 2009). Las cuchillas de la prensa se adaptan para obtener longitudes de gránulo determinadas en función de la especie animal a la que se le va a suministrar el pienso. Las condiciones en las que se encuentre la cuchilla pueden ocasionar daño a los gránulos y disminuir su durabilidad. La longitud del gránulo también es importante. De todas formas, con gránulos cortos (< 10 mm) se observó que la calidad del gránulo empeoraba en piensos a base de trigo, pero mejoraba con piensos en base a maíz. Con gránulos largos (20 mm), el estado de la

cuchilla no resultó tan importante en piensos con trigo, pero empeoró la durabilidad de los piensos de maíz.

11. La velocidad de enfriado después de la granulación puede aumentar las fracturas en los gránulos (Miladinovic, 2009). Thomas et al. (1997) indicaron que las diferencias en equipos (altura de la cama (tiempo en el enfriador), flujo de aire (un secado rápido conduce al agrietado y aumento de los puntos de rotura) y las características del aire) son importantes. Dependiendo de dónde se muestree (ej., antes del enfriador) sería importante tipificar el proceso de enfriado, de manera que no se produzca una variabilidad no deseada.
12. Las condiciones de almacenamiento pueden interaccionar con la calidad del gránulo con el paso del tiempo (Thomas y Van der Poel, 1996).

El agua añadida durante el acondicionado normalmente es en forma de vapor, aunque algunos estudios abogan por añadir agua durante el mezclado o directamente en el acondicionado. Existen varios trabajos que han estudiado la cinética del agua en semillas y material molido; éstas son características importantes en los procesos de maltería y cocción. Lewicki (2004) revisó la importancia del agua en los alimentos indicando que “prácticamente no existe una propiedad física de los alimentos, importante para la ingeniería o el consumidor, que no se vea afectada por el agua”. Añadir agua en la mezcladora fue sugerido por Moritz (2001) para simular el uso del expander (más frecuentes en Europa comparado con América para aumentar el impacto del acondicionado en la durabilidad del gránulo) sin los costes extra del expandido. Lundblad et al. (2009) investigaron las interacciones entre el agua añadida y el uso de expander para probar la hipótesis de Moritz. Sus resultados apoyan la adición de agua en la mezcladora, antes de granular con vapor, para aumentar las mediciones de durabilidad del gránulo. Gilpin et al. (2002) señalaron que un “vapor de baja calidad” (más agua libre) también mejoró la calidad del gránulo comparado con un “vapor de alta calidad”; indicando que el agua libre era importante. Concluyeron que el agua “óptima” en la harina dependía de la calidad del vapor, el tiempo de acondicionamiento, tipo de acondicionador y cantidad inicial de agua en la harina. Hemmingsen et al. (2008) indicaron que las temperaturas del agua añadida (o del acondicionado) eran importantes y que la absorción de agua aumentaba al aumentar las temperaturas. Esto sería más importante para las temperaturas de la mezcla en la mezcladora y del agua añadida.

Lundblad et al. (2009) también indicaron que existen diferencias entre raciones basadas en cebada o maíz, con mayor capacidad de absorción de agua para la cebada. También observaron que la capacidad de absorción de agua era muy variable entre

ingredientes. Otros autores también han observado una variabilidad alta dentro de un ingrediente, lo que es un problema para los fabricantes de harina o de malta. Dado que el pienso se acondiciona durante un breve espacio de tiempo, la velocidad de absorción podría ser más importante que la capacidad de absorción de agua, típicamente medida en periodos mucho más largos que los empleados en la fabricación de un pienso. Estas mismas variables (tasa y capacidad de absorción de agua) también podrían ser importantes para limitar la capacidad de ingestión (Scott, 2007). Esto se debería a que el pienso no puede ser digerido hasta que no se ha logrado un contenido en humedad relativamente elevado, por lo que cualquier retraso en conseguir esto en el intestino de un animal tendría un impacto en su capacidad de ingestión. La adición de agua al pienso supone un problema relacionado con el potencial de crecimiento de microorganismos si los niveles de actividad de agua superan el valor de 0,65, considerado el límite para asegurar la vida útil del pienso durante el almacenamiento (Lundblad et al., 2009; Liu et al. 2011)

Lundblad et al. (2009) indicaron diferencias significativas en la capacidad de absorción de agua (y probablemente la tasa de absorción) con el uso del expandido antes de la granulación. También observaron que la influencia más positiva en la durabilidad del gránulo se debía al expandido (y era más alta en piensos basados en maíz que en cebada). Como el efecto del expandido fue tan elevado, la ventaja de aumentar el contenido en agua en la mezcladora fue muy limitado. Existe un compromiso entre la adición de agua para reducir el consumo de energía al granular (efecto lubricante) y mejorar la durabilidad del gránulo (reacciones físico-químicas), y el exceso de humedad que puede ocasionar el crecimiento microbiano en el producto final o más consumo de energía durante el secado del pienso. Se han realizado algunas pruebas de campo empleando emulgentes y surfactantes; los resultados no son consistentes, pero el objetivo es aumentar el movimiento del agua entre las partículas del pienso y aumentar el valor del pienso o reducir los gastos de fabricación (Scott, observación personal). En trabajos no publicados, se han probado emulgentes y surfactantes (de uso frecuente en procesos de cocción para aumentar la ternura del pan y reducir la rancidez con el paso del tiempo) en piensos a base de trigo, pero no fueron procesados y no se observaron diferencias en los rendimientos de pollos, indicando que no había problemas de palatabilidad, pero tampoco una mejora directa en piensos no procesados. Lowe y Oldman (2010) indicaron que un surfactante (1% Maxi-Mill, ANTITOX Corp) mejoró los rendimientos del acondicionado, redujo el aumento de temperatura durante el granulado y los costes energéticos, mejoró la calidad del gránulo y aumentó el agua retenida. No se midió el efecto sobre el crecimiento microbiano.

Ozturk et al. (2009) sometieron a dos fuentes de almidón de maíz altas en amilosa a tratamiento enzimático, por calor, frío y secado, resultando diferencias significativas en los



valores de almidón resistente. Con niveles crecientes de almidón resistente la capacidad de absorción de agua (solubilidad) aumentó de 0,1% en las muestras originales a valores >7% en las muestras altamente procesadas. Las muestras secadas en estufa tuvieron valores más elevados de almidón resistente que las liofilizadas, asociado a la mayor movilidad del almidón cuando se seca a altas temperaturas, permitiendo una cristalización más fuerte. Pollack et al. (2011) observaron en estudios con distintas poblaciones de maíz que las propiedades termales del almidón retrogradado eran más heredables que las del almidón crudo, indicando que la selección de líneas basadas en almidón gelatinizado resultaría en líneas más diversas. También observaron que se eliminaban algunas de las influencias ambientales en los resultados de las distintas líneas. Esto da pie a formular la pregunta de si pudiendo predecir la variabilidad de las entradas, se podrían adaptar las condiciones del proceso para conseguir un rendimiento más consistente de almidón resistente (en humanos y posiblemente como prebiótico, en animales) o en almidón digerido de forma lenta (en animales).

Svihus et al. (2004) (que pudo ser convencido para admitir que tiene un sesgo hacia el uso de partículas groseras en piensos para aves para estimular el tamaño de la molleja y estado sanitario), señaló que es importante procesar el alimento para separar el efecto de la estructura (o forma) del pienso sobre la estimulación del consumo y sobre la utilización del alimento. Estos autores indicaron que la calidad del gránulo puede empeorar cuando se utilizan partículas groseras, consecuencia de la incapacidad de compactar el material eficazmente y que una molienda fina también puede favorecer más interacciones entre humedad, temperatura, almidón y proteínas. Según los resultados de experimentos para comprobar esta hipótesis, el acondicionamiento y la granulación per se tendían a igualar las diferencias en la distribución de partículas y la molienda grosera del trigo no tuvo una influencia negativa en los rendimientos de los pollos. También indicaron que una molienda fina (martillos o rodillos) resultaba en una durabilidad del gránulo más elevada. También citaron los trabajos de Dobraszczyk, quien señaló que la dureza del trigo es importante, pues trigos más duros tienden a partirse en partículas mayores que los trigos blandos, y que esta diferencias es importante. Vaha et al. (2009) indicaron que la dureza del grano es importante para la calidad de la harina, rendimiento, tamaño de partícula y absorción de agua. Gaines (1986) evaluó semillas individuales para su dureza. Observaron gran variación en la textura del grano individual (dureza y blandura) dentro de un mismo cultivar. La mayor variación dentro de una variedad estaba relacionada con granos de trigo de un solo raquis y posiblemente cosechados a diferentes tiempos de maduración de los granos. El tamaño del grano, su peso y densidad son importantes en la dureza de los granos.

#### 4.- FUTURO

Hay muchos experimentos en marcha para determinar las interacciones entre ingredientes y condiciones de procesado (molienda, acondicionamiento (temperatura, humedad y tiempo) y tipos de equipos de granulación) y la necesidad del empleo de aditivos como los aglomerantes. En base a esto, se podrá determinar si merece la pena desarrollar técnicas rápidas de evaluación para predecir las condiciones óptimas de proceso que permitan aumentar consistentemente el valor nutritivo de los ingredientes. Técnicas de clasificación de las semillas serán un componente de estos estudios, pues permitirán dividir fuentes individuales de granos en fracciones más similares y determinar si estas fracciones responden de manera similar a varios procesos. También hay indicios de que el procesado puede mejorar de forma significativa el contenido en ciertos componentes bioactivos que puedan mejorar la sanidad y seguridad de la producción de carne. Como se ha indicado antes, el procesado de los piensos jugará un papel de importancia creciente a la hora de aumentar la productividad y la eficacia de producción de proteína animal y también para mejorar la calidad y seguridad de los alimentos de una forma sostenible.

#### 5.- REFERENCIAS

- ALLEN, C.M. y McCRAKEN, K.J. (1995) *Anim. Feed Sci Technol.* 62, 49-57.
- Behnke, K.C. (2001) Processing factors influencing pellet quality. *FeedTech* 5(4).
- BEYER, R.S., MORITZ, J.S., WILSON, K.J. y CRAMER, K.R. (2000) En: *61st Minnesota Nutrition Conference & Minnesota Soybean Research Council and Promotion Council Technical Symposium*; Bloomington, Minnesota. pp: 225-235.
- BIGLIANI, G.R. (2007) *Why steam conditioning?* <http://en.engormix.com/MA-feed-machinery/manufacturing/articles/why-steam-conditioning-t440/801-p0.htm>.
- BOUVAREL, I., CHAGNEAU, A.M., LECUELLE, S., LESCOAT, P., FERREIRA, G., DUVAUX-PONTER C. y LETERRIER, C. (2009) *Applied Animal Behaviour Science* 118, 62-68.
- BUCHANAN, N.P., LILLY, K.G.S., GEHRING, C.K. y MORITZ, J.S. (2010) *Journal of Applied Poultry Research* 19, 112-120.
- CAVALCANTI, W.B. y BEHNKE, K.C. (2005a) *Cereal Chemistry* 82, 455-461.
- CAVALCANTI, W.B. y BEHNKE, K.C. (2005b) *Cereal Chemistry* 82, 462-467.
- FIGUERO, J.D.C., HERNANDEZ, Z.J.E., VELES, M.J.J., RAYAS-DUARTE, P., MARTINEZ-FORES, H.E. y PONCE-GARCIA, N. (2011) *Cereal Chemistry* 88, 12-18.
- FRANCESCH, M., PEREZE-VENDRELL, A.M., ESTEVE GARCIA, E. y BRUFAU, J. (1994) *Br. Poult. Poult. Sci.* 35, 259-272.

- FROESTSCHNER, J. (2007) *AFMA Matrix*, March, 42-43.
- GAINES, C.S. (1986) *Cereal Chemistry* 63, 479-484.
- GILPIN, A.S., HERRMAN, T.J., BEHNKE, K.C. y FAIRCHILD, .FJ. (2002) *Applied Engineering in Agriculture* 18, 331-338.
- HANCOCK, J.D. (2010) *Thermal processing technologies (pelleting, expanding, and extruding) to produce quality feeds for pigs*. Manitoba Pork Seminar <http://www.gov.mb.ca/agriculture/livestock/pork/pdf/swineseminar2010/bab24s11.pdf>
- HEMMINGSEN, A.K.T., STEVIK, A.M., CLAUSSEN, I.C., LUNBLAD, K.K., PRESTLØKKEN, SØRENSEN, M. y EIKEVIK, T.M. (2008) *Drying Technology* 26, 738 -748.
- KALIYAN, N. y MOREY, R.V. 2009) *Biomass and Bioenergy* 33, 337-359.
- KÖSTER, H. (2003) En: *American Feed Manufacturers Association annual symposium 22 August*. Published in *AFMA Matrix*.
- KULIG, T. y LASKOWSKI, J. (2009) *Teka Kom. Mot. Energ. Roln. – OL PAN*, 9, 138-144.
- LEWICKI, P.P. (2004) *Journal of Food Engineering* 61, 483-495.
- LIU, H.L., JIN, Z.Y., XU, X.M., SIE, Z.J., PAN, B.H. y LI, J.G. (2011) *Applied Engineering in Agriculture* 27, 115-125.
- LÖWE, R. y OLDMAN, R. (2010) *Does the addition of a surfactant affect the pelleting process?*<http://www.allaboutfeed.net/processing/extruding-expand/thermal-treatment/surfactant-boosts-mill-productivity-and-efficiency-11517-page-2.html> accessed.
- LUCHT, T. (2011) *AllAboutFeed.net* 2(1) 16-19.
- LUNDBLAD, K.K., HANCOCK, J.D., BEHNKE, K.C., PRESTLOKKEN, E., MCKINNEY, L.J. y SORENSEN, M. (2009) The effect of adding water into the mixer on pelleting efficiency and pellet quality in diets for finishing pigs without and with use of an expander.
- LÖWE, R. y OLDMAN, R. (2010) *Does the addition of a surfactant affect the pelleting process?*<http://www.allaboutfeed.net/processing/extruding-expand/thermal-treatment/surfactant-boosts-mill-productivity-and-efficiency-11517-page-2.html> accessed June 13, 2011.
- MILADINOVIC, D. (2009) *AFMA Matrix* March, pp 24, 26.
- MOLLAH, Y., BRYDEN, W.L., WALLIS, I.R., BALNAVE, D. y ANNISON, F.E. (1983) *Br. Poult. Sci.* 24, 81-89.
- MORITZ, J.S., BEYER, R.S., WILSON, K.J. y CRAMER, K.R. (2001) *J. Appl. Poult. Res.* 10, 347-353.
- NATHIER-DUFOUR, N., ANGUE, Y., DEVAUX, M.F., BERTRAND, D. y LE DESCHAULT DE MONREDON, F. (1995) *Anim. Feed Sci Technol.* 51, 255-268.

- NIR, I. y PTICHI, I. (2001) En: *Proceedings of the 1st World Feed Conference*, Utrecht (Editors: A.F.B. van der Poel, J.L. Vahl, R.P. Kwakkel) Wageningen Press. pp: 157-186.
- OZTURK, S., KOKSEL, H. y PKW, N. (2009) *Cereal Chemistry* 86, 503-510.
- PAYNE, J.D. (2004) *Troubleshooting the pelleting process: Part 1*.  
[http://www.nmfeed.com/Files/Posts/Portal1/4\\_58\\_.pdf](http://www.nmfeed.com/Files/Posts/Portal1/4_58_.pdf)
- PLATTNER, B. y ROKEY, G. (2009) *Better pellets with preconditioning*.  
<http://en.engormix.com/MA-feed-machinery/formulation/articles/feed-preconditioning-t1681/800-p0.htm> (accessed, May 27, 2011).
- POLLAK, L.M., SCOTT, M.P. y DUVICK, S.A. (in press) *Cereal Chemistry "First Look"* paper doi: 10.1094/CCHEM-09-10-0104 – posted 05/10/2011.
- REIMER, L. (1992) En: *Proceedings Northern Crops Institute Feed Mill Management and Feed Manufacturing Technol. Short Course*. California Pellet Mill Co. Crawfordsville, IN. p: 7.
- RICHERT, B.T. y DE ROUCHEY, J.M. (2007) *Swine Feed Processing and Manufacturing*. National Swine Nutrition Guide.  
[http://www.usporkcenter.org/UserFiles/file/NSNG/NSNG-Swine%20Feed%20Processing%20and%20Manufacturing\(1\).pdf](http://www.usporkcenter.org/UserFiles/file/NSNG/NSNG-Swine%20Feed%20Processing%20and%20Manufacturing(1).pdf) accessed.
- SCOTT, T.A. (2000) En: *World's Poultry Congress*, Montreal QC (CD-ROM).
- SCOTT, T.A. (2005) *Australian Poultry Science Symposium* 17, 138-144.
- SCOTT, T.A. (2010) En: *World's Poultry Science Association – UK Branch Spring Meeting*, Belfast.
- SCOTT, T.A., LESLIE, M.A., y KARIMI, A. (2001) *Can. J. Anim. Sci.* 81, 403-410.
- SCOTT, T.A. y SILVERSIDES, F.G. (2003) *Canadian Journal of Animal Science* 83, 265-272.
- SCOTT, T.A., SILVERSIDES, F.G. y ZIJLSTRA, Z.T. (2003) *Can. J. Anim. Sci.* 83, 257-263.
- SHAYO, N.B., LASWAI, H.S. TIISEKWA, B.P.M., NNKO, S.A.M., GIDAMIS, A.B. y NJOKI, P. (2001) *Internt. J Food Sci. Nutr.* 52, 117-126.
- SKOCH, E.R., BINDER, S.F., DEYOE, C.W., ALLEE, G.L. y BEHNKE, K.C. 1983) *J. Anim. Sci.* 57, 929-935.
- SVIHUS, B., KLØVSTAD, K.H., PEREZ, V., ZIMONJA, O., SAHLSTRÖM, V., SCHÜLLER, R. y PRESTLØKKEN, E. (2004) *Anim. Feed Sci Technol.* 117, 281-293.
- THOMAS, M. y VAN DER POEL, A.F.B. 1996. *Anim. Feed Sci Technol.* 61, 90-112.
- THOMAS, M., VAN ZUILICHEM, D.J. y VAN DER POEL, A.F.B. (1997) *Anim. Feed Sci Technol.* 64, 173-192.
- THOMAS, M., VAN VLIET, T. y VAN DER POEL, A.F.B. (1998) *Anim. Feed Sci Technol.* 70, 59-78.

- THOMAS, M. y VAN DER POEL, A.F.B. (2001) En: *Proceedings of the 1st World Feed Conference* (Editors: A.F.B. van der Poel, J.L. Vahl, R.P. Kwakkel), Utrecht, Wageningen Press. pp: 109-122.
- WOOD, J.F. (1987) *Anim. Feed Sci Technol.* 18, 1-17.
- VEHA, A., SZABO, P., BALAZS, M.E. y GYIMES, E. (2009) *Fascicula:protectia Mediului.* XIV, 311-315.
- YAN-CONG, L., ZHI-SHENG, W. y HUIYONG Y XIN, S. (2011) *Anim. Husbandry Feed Sci.* 3, 5-6, 10.
- ZIGGERS, D. (2011) *AllAboutFeed.net* 2(1), 14-15.

FEDNA

FEDONA