



Cátedra Nanta
de Ganadería de Precisión
Universidad Zaragoza



FABRICACIÓN DE PIENSO EN PELLETS Y CALIDAD DEL GRANULADO

INFLUENCIA EN LA NUTRICIÓN ANIMAL

Descripción breve

Informe didáctico sobre la fabricación de piensos para ganadería en pellet, factores que influyen en su calidad así como influencia en la nutrición animal y sus resultados zootécnicos

Contenido

Introducción	2
Proceso de fabricación del pienso peletizado.....	2
Molienda de las materias primas:.....	3
Mezclado y acondicionamiento con vapor:	4
Peletizado en la prensa granuladora:.....	4
Enfriamiento y cribado de los pellets:.....	5
Almacenamiento y manejo:	6
Importancia del mantenimiento en la fábrica de piensos	6
Influencia de las materias primas en la calidad del pellet	7
Tipo de almidón y proteína de los cereales:	7
Contenido de fibra de la fórmula:	8
Aceites y grasas añadidas:.....	8
Otros ingredientes y aditivos:	8
El acondicionamiento y la compresión: rol del vapor, temperatura y matriz	9
Temperatura de acondicionado:.....	9
Humedad durante el acondicionamiento:	9
Calidad del vapor:.....	10
Compresión en la matriz (Relación L/D y velocidad):	10
Enfriamiento controlado:	11
Factores que determinan la calidad física del pellet.....	11
Efecto del peletizado en la nutrición y los resultados zootécnicos	14
Mayor consumo voluntario de alimento:	14
Mejora de la conversión alimenticia (eficiencia):	14
Ganancia de peso más rápida:	14
Menos desperdicio y mejor uniformidad en corrales:.....	15
Efectos en la digestión y salud intestinal:	15
Resultados zootécnicos globales:.....	15
Resumen y Conclusión:	16
References.....	17

Fabricación de Pienso en Pellets y Calidad del Granulado

Ventajas de la alimentación en pellet

Menos desperdicio y selección: Los animales no pueden escoger ingredientes, reduciendo pérdidas en comederos. **Mayor ingestión:** La forma granular aumenta la densidad del pienso y facilita su consumo. **Mejor conversión alimenticia:** Dietas peletizadas de alta calidad mejoran la eficiencia alimenticia en monogástricos, acelerando su crecimiento.

Introducción

El **peletizado del pienso compuesto** es un proceso tecnológico que convierte una mezcla de ingredientes molidos en gránulos cilíndricos densos. Se emplea ampliamente en la nutrición animal por sus **ventajas técnicas y productivas**: reduce el desperdicio de alimento, evita la selección de partículas por el animal, incrementa la densidad y facilita el manejo y transporte del pienso[1]. En especies monogástricas como **cerdos y pollos de engorde**, la alimentación en forma de pellet suele mejorar el **consumo y la conversión alimenticia (IC)**, resultando en mayores ganancias de peso y mejor Índice de Conversión (kg alimento/kg ganancia) comparado con dietas en harina[1][2]. Sin embargo, la eficacia del pellet depende de su **calidad física**: un pellet durable, con mínimo contenido de finos (polvo), maximiza los beneficios productivos, mientras que un pellet de mala calidad puede anular estas ventajas[2].

Este informe didáctico abarca los aspectos clave del **proceso de fabricación de pienso en forma de pellet**, la **importancia del mantenimiento** en planta, la **influencia de las materias primas** en la calidad del pellet, y el **impacto del granulado** tanto en las características nutritivas del pienso como en los resultados zootécnicos en monogástricos (cerdos y pollos). Se explicará cómo variables del proceso (como **compresión, temperatura y humedad** en el acondicionamiento) y características del diseño (p.ej. el acondicionador y la matriz peletizadora) influyen en la **calidad del granulado** y, en consecuencia, en el desempeño técnico de los animales.

Proceso de fabricación del pienso peletizado

Elaborar pienso en pellets implica varias etapas secuenciales, desde la preparación de la materia prima hasta el enfriamiento final del granulado. Cada fase debe optimizarse para obtener pellets de alta calidad física (duros y con pocos finos) de forma eficiente en términos energéticos.

Paso 1: Molienda de las materias primas

Los ingredientes se muelen (generalmente con molino de martillos) hasta la granulometría deseada. Un tamaño de partícula más pequeño mejora la compactación en pellet, pero debe equilibrarse con la salud digestiva del animal.

Paso 2: Mezclado y acondicionamiento

La harina resultante se mezcla con otros componentes y se acondiciona con vapor de agua. **Acondicionar** significa añadir humedad (10–15%) y calor (~80–90 °C) para gelatinizar almidones y ablandar las partículas, facilitando la prensado.

Paso 3: Peletizado en la prensa

La mezcla caliente pasa a través de la *matriz* de la peletizadora mediante rodillos compresores. La comida se compacta y se extruye por los orificios, formando cilindros (pellets) de diámetro y longitud definidas.

Paso 4: Enfriamiento y cribado

Los pellets calientes se enfrían con aire para endurecerlos y reducir su humedad a ~12%. Luego se tamizan para separar "finos" (polvo y fragmentos sueltos) que puedan haberse generado. Los finos se reciclan al proceso o se reprocesan.

Paso 5: Almacenamiento

El pellet terminado, duro y seco, se almacena protegido de la humedad. Un buen manejo post-producción evita roturas y la reabsorción de agua, manteniendo la calidad física hasta su uso.

Molienda de las materias primas:

La producción comienza con la trituración de los ingredientes (cereales, tortas proteicas, etc.) para obtener una **harina fina y homogénea**. Por lo general, se emplean molinos de martillos con tamices que determinan el tamaño de partícula. Un tamaño medio reducido (p.ej. diámetros < 3 mm) aumenta la superficie de contacto de las partículas y **mejora la compactación** en la matriz, resultando en pellets más duros y durables[3]. Estudios indican que, al disminuir el diámetro medio de partícula de ~3.2 mm a ~1.6 mm, la proporción de finos en el pellet se reduce y la durabilidad aumenta significativamente[3]. Sin embargo, partículas extremadamente finas (<0,5 mm en exceso) pueden generar más polvo (finos) y elevar costos energéticos de molienda[4][5]. En la práctica, se busca un compromiso: **partículas lo suficientemente pequeñas para pellet de calidad**, pero sin excederse en la fracción de polvo.

Nota: Los sistemas de **premolienda** muelen cada ingrediente por separado antes de mezclar, permitiendo ajustar la granulometría óptima de cada uno; esto suele mejorar la calidad del pellet. En cambio, en sistemas de **post-molienda**, se muele la mezcla completa (lo cual es menos flexible)[4]. Además, el tipo de molino influye: un molino de

rodillos produce menos finos y consume menos energía que uno de martillos, obteniendo harinas de partículas más uniformes[4].

Mezclado y acondicionamiento con vapor:

Tras la molienda, los ingredientes se dosifican y mezclan según la fórmula nutricional. Luego la harina pasa al **acondicionador**, una cámara donde se inyecta vapor de agua caliente. El acondicionamiento es una etapa crítica: añade **humedad (usualmente 10–15%) y calor (70–90 °C)** al alimento[3]. Este tratamiento térmico-húmedo **ablanda las partículas, gelatiniza parcialmente los almidones y desnaturaliza proteínas**, actuando como adhesivo natural entre partículas[1]. Un buen acondicionamiento **incrementa la plasticidad** de la masa, facilitando que se compacte al pasar por la matriz, lo que **mejora la calidad del pellet y la eficiencia de la peletizadora**[1].

Tres factores claves durante el acondicionamiento son:

- **Temperatura alcanzada:** A igual humedad, una temperatura más alta produce pellets más duraderos[3]. Por ejemplo, elevar la temperatura de acondicionado de 85 °C a 93 °C mejora significativamente la durabilidad del pellet (de ~78% a ~93% de índice de durabilidad)[3]. Esta mejora se debe a una gelatinización más completa del almidón y mejor penetración del vapor en la harina.
- **Contenido de humedad:** Existe un punto óptimo de humedad. Inicialmente, añadir agua mejora la consistencia de la masa; pero más allá de cierto nivel, el exceso de agua lubrica en demasía las partículas y **disminuye la cohesión**[3]. En torno a un **15% de humedad** en el alimento al entrar a la prensa suele ser ideal: por encima, la masa se vuelve pastosa y pueden formarse capas no compactadas entre rodillo y matriz (el síntoma típico de *embolosamiento* de la peletizadora)[3]. Controlar la calidad del vapor es importante: se usa *vapor seco* (alto contenido térmico, mínima agua líquida) mediante una rampa reductora de presión y separador de condensado, lo cual permite calentar más sin sobre-humedad[3].
- **Tiempo de retención:** Un acondicionador típico proporciona 15–30 segundos de retención de la harina con vapor. Mayor tiempo (p.ej. acondicionadores de retención larga, 60–120 seg) suele mejorar la uniformidad del calentamiento y la absorción de agua, resultando en pellets más duros[3]. No obstante, el tiempo está limitado por la capacidad de la planta y las propiedades de la fórmula (excesos pueden causar sobrecoCCIÓN de nutrientes sensibles).

Peletizado en la prensa granuladora:

Tras el acondicionamiento, el alimento caliente y húmedo entra a la prensa de pellet. El corazón de esta máquina es la **matriz perforada** (de acero endurecido) y los **rodillos o zapatas** que comprimen la harina contra la matriz. Al girar, los rodillos **compactan la masa** y la fuerzan a atravesar los orificios de la matriz, saliendo en forma de cilindros continuos. Cuchillas al ras de la matriz cortan los cilindros al largo deseado (p. ej., 3–5 mm de longitud para pollos, 10–15 mm para cerdos jóvenes, etc.).

Dos parámetros de diseño influyen grandemente en esta etapa:

- **Diámetro del orificio y longitud activa de la matriz (L/D):** Define la **relación de compresión**. Una matriz con orificios largos (mayor L/D) ejerce más fricción y

compresión sobre el pellet, produciendo gránulos más densos y duros, aunque reduce el rendimiento de producción[3]. Por ejemplo, con la misma fórmula, una matriz de L/D muy alto puede aumentar la durabilidad del pellet varios puntos porcentuales a costa de bajar la capacidad (kg/h) de la máquina[3]. Hay que equilibrar calidad vs. productividad: *“a mayor rendimiento de la prensa, menor calidad del pellet, y viceversa”*[3]. Las fábricas eligen la matriz considerando especie animal (palatabilidad vs dureza) y eficiencia. En piensos de **monogástricos** suele usarse L/D medio-alto para maximizar la dureza del pellet, dado que estas especies aprovechan mejor un pellet íntegro[1][2].

- **Tamaño del pellet:** El diámetro final del pellet se ajusta al animal (por lo común, 2.5–4 mm en pollos; 4–6 mm en cerdos de engorde). Diámetros mayores facilitan el paso por la matriz (menos fricción), pero reducen la densidad del pellet y pueden aumentar algo el porcentaje de finos al romperse más fácilmente los gránulos grandes. En cambio, pellet muy pequeño mejora la uniformidad pero gasta más energía en extrusión y puede no ser necesario para animales adultos. Se selecciona un diámetro que los animales ingieran cómodamente sin excesiva fragmentación.

La **energía consumida** en esta etapa es significativa. La prensa granuladora opera con motores potentes (por ejemplo, 200–400 kW para producir ~10 t/h), representando aproximadamente la mitad del consumo eléctrico de la planta[5][5]. Pese a este gasto energético, el peletizado incrementa el valor alimenticio práctico del pienso: la mejora en conversión alimenticia y crecimiento de los animales suele compensar con creces el costo energético.

Enfriamiento y cribado de los pellets:

Al salir de la matriz, los pellets están calientes (~70–80 °C) y contienen más humedad de la deseada final. Se someten inmediatamente a enfriamiento forzado en un **enfriador de contraflujo** o de corriente cruzada. Aire ambiental fresco atraviesa la columna de pellets calientes, extrayendo vapor de agua y calor. En pocos minutos, los pellets alcanzan temperatura cercana a la ambiente y su humedad baja al ~12% seguro para almacenamiento[5]. Este enfriamiento es fundamental para **endurecer** los pellets: la brusca reducción de temperatura y humedad culmina la gelatinización del almidón y frena procesos de desunión. Un pellet enfriado insuficientemente será más frágil y susceptible a moho.

Tras enfriar, el producto se **criba o tamiza** para eliminar partículas sueltas. Los llamados **finos** (fragmentos, polvo) provienen de pequeñas roturas durante el enfriado o traslados. Se usan tamices vibratorios que dejan caer los finos (recogidos para reprocesar) y retienen los pellets íntegros, que continúan hacia el ensacado o silos. Un pellet de **alta calidad** tendrá bajo porcentaje de finos (<5% idealmente) justo tras el enfriado[1]. Algunas plantas recubren los pellets con aceite o melaza post-enfriado (*reengrase*) para mejorar palatabilidad o contenido energético; esto debe hacerse con precaución ya que demasiado aceite superficial puede debilitar la estructura del pellet.

Almacenamiento y manejo:

Los pellets terminados se transportan mediante norias o sinfines a tolvas de almacenamiento. Se evita la caída libre desde grandes alturas o transportadores bruscos, pues pueden generar finos por impacto. Conviene almacenar en silos secos y frescos; el pellet es higroscópico (absorbe humedad del aire), lo que puede reblandecerlo. Un **buen manejo** (minimizar retrabajos, distancias de caída y exposición a humedad) asegura que el alimento llegue a la granja con la misma calidad con que salió de fábrica.

Importancia del mantenimiento en la fábrica de piensos

La **operación y mantenimiento adecuados** de los equipos son esenciales para producir pellets de calidad consistente y de forma eficiente. Un programa riguroso de mantenimiento **previene variaciones en el proceso** que podrían mermar la calidad física del pienso o la productividad de la planta. A continuación, se destacan áreas críticas:

- **Limpieza de materias extrañas:** Antes de la molienda, el alimento pasa por imanes y tamices en la tolva de recepción (*piquera*) para retirar impurezas metálicas, piedras y polvo[4]. Esto no solo protege el molino (evitando rotura de martillos) sino que mejora la calidad: menos contaminación significa pellet más puro y menor riesgo de chispas/incendios. Como parte del mantenimiento, **imanes, cribas y despalilladores** deben limpiarse regularmente para no perder eficacia[4].
- **Calibración del molino y tamaño de partícula:** Con el tiempo, las cribas del molino de martillos pueden desgastarse (agujeros más grandes) y los martillos perder filo, alterando la granulometría. Un mantenimiento periódico (rotación/cambio de martillos, sustitución de cribas dañadas) mantiene el **tamaño de partícula de diseño**, asegurando que no haya exceso de partículas gruesas ni demasiados finos fuera de especificación[4][4]. Esto es vital, pues tanto partículas demasiado grandes como exceso de polvo pueden reducir la calidad del pellet resultante.
- **Sistema de vapor y acondicionador:** Es imprescindible revisar calderas, válvulas y el separador de vapor. La presencia de condensado en la línea de vapor (vapor “húmedo”) afecta el acondicionamiento – añade humedad sin temperatura – empeorando la gelatinización. La **“rampa de vapor”** y su trampa de condensados deben mantenerse para proveer vapor seco al acondicionador[3]. Además, las paletas o ejes del acondicionador han de inspeccionarse: *incrustaciones de pienso* antiguo (por ejemplo, con melaza) pueden crear puntos fríos o reducir el tiempo de retención. Limpiar el acondicionador frecuentemente evita estos problemas y garantiza un **acondicionado uniforme lote tras lote**.
- **Matriz y rodillos de la peletizadora:** Son piezas de desgaste crítico. Con el uso, los orificios de la matriz se pulen y ensanchan ligeramente, reduciendo la fricción; los rodillos pierden rugosidad. Esto **disminuye la compresión efectiva**, dando pellets menos densos y más quebradizos. Por ello, es necesario re-

maquinar o sustituir la matriz tras cierto tonelaje producido, y cambiar/re-estriar los rodillos según especificaciones del fabricante. Un síntoma de matriz desgastada es el aumento del % de finos o la caída en Índice de Durabilidad del pellet a igualdad de fórmula y proceso. Mantener matriz/rodillos en buen estado asegura **pellets firmes y homogéneos**[3].

- **Lubricación y ajuste de equipos móviles:** Componentes como cojinetes de los molinos, engranajes de la prensa o ventiladores del enfriador deben lubricarse y ajustarse siguiendo el plan. Vibraciones anormales o holguras pueden generar variabilidad (p.ej., flujo irregular de alimento al acondicionador o distribución dispareja de pellets en el enfriador). El mantenimiento previsor minimiza paradas imprevistas que podrían comprometer un lote de producción.
- **Control de polvo y seguridad:** La acumulación de polvo en la planta no solo es un riesgo de explosión, sino que puede contaminar los pellets durante el enfriado o ensacado. La limpieza general (suelo, vigas, ductos) y el mantenimiento de los filtros de mangas/extractores garantizan un ambiente seguro y reducen reincorporación de finos al producto terminado. Como dijo un experto, *“la calidad empieza por la limpieza”*, y en la fábrica de piensos esto se refleja en un pellet libre de contaminantes y elaborado en condiciones estables[4].

En resumen, **un buen mantenimiento** previene fluctuaciones en los parámetros críticos de peletizado. Cada equipo en óptimo estado cumple su función: el molino entrega la molienda esperada, el acondicionador proporciona la temperatura/humedad adecuada, la prensa opera a presión constante y el enfriador fija la estructura del pellet correctamente. Esto se traduce en **granulados de calidad consistente**, mejora la eficiencia (menores reprocesos, menos desperdicio) y **aumenta la rentabilidad** de la planta. Negligencias en mantenimiento, por el contrario, suelen notarse inmediatamente en el pellet (porcentaje de finos arriba de lo normal, variaciones de tamaño, etc.) y a largo plazo en los resultados zootécnicos en granja.

Influencia de las materias primas en la calidad del pellet

La formulación de la dieta y las características intrínsecas de cada ingrediente afectan marcadamente la facilidad de peletización y la calidad física del pellet obtenido. **No todas las materias primas granulan igual:** algunas favorecen la cohesión del pellet, mientras otras la dificultan. Destacan los siguientes factores:

Tipo de almidón y proteína de los cereales:

Los cereales aportan almidones que actúan como **“pegantes naturales”** al gelatinizarse con el vapor. **Almidones harinosos** (como los de trigo, centeno, cebada) absorben más agua y gelatinizan más fácilmente que almidones vítreos (como el del maíz)[1][1]. Por eso, *el trigo y el centeno tienden a producir pellets más duros y duraderos que el maíz*[1]. Asimismo, las proteínas de cereales *panificables* (gluteninas) contribuyen a la unión del pellet; el trigo o centeno, ricos en gluten elástico, mejoran la calidad del granulado en comparación con avena o maíz[1]. En pruebas experimentales, el trigo obtuvo una

puntuación de **8/10 en “factor de calidad de granulación”**, mayor que maíz (5/10) o avena (2/10)[1]. Esto significa que dietas con alto contenido de trigo suelen pelletizarse mejor (pellets más firmes) que aquellas con predominio de maíz u otros cereales menos “pegajosos”.

Contenido de fibra de la fórmula:

Los ingredientes muy fibrosos (salvados, pulpas, forrajes) presentan una doble influencia. Por un lado, la fibra **absorbe agua lentamente** – especialmente las fracciones lignificadas – lo que dificulta el acondicionamiento completo cuando el tiempo en el reactor es corto[1][1]. Si la harina tiene mucha fibra “dura” (ej. cascarillas, paja), parte del vapor no llega a penetrarla durante esos pocos segundos, quedando el interior de ciertas partículas seco y menos gelificado. Por ende, *dietas muy fibrosas tienden a pelletizar peor* (pellets blandos o con más finos)[1]. Sin embargo, la fibra tiene un efecto indirecto beneficioso: suele **reducir el rendimiento (throughput) de la prensa**, aumentando el tiempo de compresión de cada pellet y generando así gránulos más densos[1]. Es decir, al entorpecer el paso por la matriz, la fibra fuerza a que cada pellet pase más tiempo bajo presión, consolidándose mejor. En la práctica, la fibra en niveles moderados puede endurecer el pellet, pero si es muy elevada y mal acondicionada, predominará su efecto negativo. Por ello se recomienda pretratar fibras (molido fino, pre-humedad) o incluir aglutinantes si se trabajan dietas de >8–10% fibra bruta.

Aceites y grasas añadidas:

El contenido graso de la mezcla es un factor crítico. **La grasa tiene efecto lubricante:** facilita que la harina pase por la matriz con menor resistencia, *lo cual eleva la producción (kg/h) pero perjudica la calidad del pellet*[1]. En la prensa se observa que dietas con más aceite requieren menos amperaje (menos esfuerzo) – prueba de ese efecto lubricante – pero los pellets salen más blandos. Esto ocurre porque la grasa **impide la mezcla íntima con el vapor** (es hidrofóbica) y reduce la fricción interna necesaria para compactar[1]. De hecho, experimentos muestran que al subir el contenido de grasa en la dieta, la durabilidad del pellet disminuye linealmente mientras la capacidad de la granuladora aumenta[1]. Para minimizar este problema, en fábricas se reparte la adición de grasa en varios puntos: una parte en la mezcladora (antes de peletizar), otra pequeña en la propia matriz (pulverizada) y el resto mediante reengrase post-pellet[1]. De esta forma se mantiene la grasa total deseada en el pienso, pero sin sobrecargar la fase de peletizado. A modo orientativo, se procura que la grasa incorporada antes del peletizado no exceda ~2–3% del peso del alimento; cantidades mayores, *solo después* (aspersadas sobre el pellet enfriado). Cumpliendo esto, el pellet resultante conserva buena integridad. En conclusión, cuanto más alto el porcentaje de aceite en ingredientes (por ej. soya integral, sebo) o adicionada, más difícil obtener un pellet duro sin apoyo de aglutinantes.

Otros ingredientes y aditivos:

Algunos co-productos tienen **comportamientos particulares**. Por ejemplo, la **melaza** (residuo azucarado líquido) a dosis moderadas puede actuar como pegamento por sus azúcares y viscosidad, mejorando la cohesión[1]. No obstante, si la melaza se incorpora fría mucho antes de peletizar, forma mini-aglomerados con la harina que, al enfriarse,

dificultan luego la penetración del vapor y empeoran el acondicionamiento[1]. En cambio, si se dosifica directamente *caliente en el acondicionador*, no genera ese problema y incluso permite porcentajes mayores sin detrimento[1]. Ingredientes proteicos como la harina de soya generalmente granulan bien (aportan algo de cohesión proteica), mientras que subproductos como DDGS de maíz o gluten feed, según la literatura, tienen factores de calidad intermedios (3–5/10)[1], pudiendo requerir ajustes en la fórmula para no perjudicar la dureza del pellet.

En síntesis, **las materias primas determinan en gran medida la “granulabilidad” del pienso**. Cereal de buena calidad panificable (trigo) favorece pellet robusto[1]; dietas con mucha fibra requieren más control de proceso para lograr similar resultado, y exceso de grasa casi seguro implicará menor durabilidad a menos que se maneje bien la dosificación[1]. El nutricionista y el tecnólogo de la fábrica deben trabajar coordinadamente: formular con ingredientes que aporten valor nutricional y, a la vez, considerar su impacto en el proceso de peletización, haciendo ajustes (granulometría más fina, uso de aglutinantes naturales o sintéticos, etc.) según la combinación de materias primas usada.

El acondicionamiento y la compresión: rol del vapor, temperatura y matriz

Ya se ha mencionado que el **acondicionamiento térmico-húmedo** del pienso es uno de los tres factores más influyentes en la calidad del pellet (junto con la formulación y la granulometría)[1]. Ahora profundizaremos en *cómo* las condiciones de vapor, temperatura y compresión afectan directamente la formación del pellet y sus propiedades físicas.

Temperatura de acondicionado:

“A mayor temperatura del acondicionador, mejor calidad del pellet” es una regla generalmente válida[3]. Cuando se mantiene constante la humedad, elevar la temperatura intensifica la gelatinización del almidón y la desnaturalización proteica, creando un adhesivo natural más efectivo entre partículas. Por ejemplo, en ensayos controlados, subir la temperatura de 80 °C a 90 °C incrementó la durabilidad del pellet en ~5–10 puntos porcentuales[3]. Además, temperaturas más altas reducen la presencia de patógenos, mejorando la seguridad alimentaria del pienso. Eso sí, conviene no exceder ~95 °C en el acondicionador para no destruir nutrientes sensibles (vitaminas, enzimas) ni provocar sobrecoCCIÓN que empiece a re-secar el alimento (recordemos que el vapor agrega humedad, pero si superáramos cierto umbral podría evaporarse demasiada agua interna de la harina). En la práctica, muchas fábricas trabajan en un rango de **80–90 °C de temperatura de salida del acondicionador** como óptimo para monogástricos[3].

Humedad durante el acondicionamiento:

El agua añadida vía vapor es necesaria para ablandar y gelatinizar, pero su efecto no es monótono: hay un punto óptimo de adición. Inicialmente, partiendo de una harina seca

(digamos 11% humedad), sumar agua la vuelve más cohesiva (fenómeno de puentes capilares entre partículas) y la plasticidad aumenta rápidamente hasta un máximo óptimo[3]. Alrededor de ese máximo – típicamente cuando la harina alcanza ~15–17% de humedad – el **acondicionamiento es ideal**: la consistencia es plástica, perfecta para moldearse en pellet[3]. Si se añade aún más agua (humedad >18–20%), el exceso forma películas líquidas que debilitan las fuerzas capilares y la masa se vuelve pastosa o fluida, perdiendo cohesión[3]. En ese estado, la granuladora puede sufrir problemas (masa demasiado blanda que no se corta bien, generando capas entre rodillo y matriz, o incluso apagar la máquina por “embolosamiento”). Por tanto, se debe apuntar a esa **ventana óptima de humedad**. Como referencia, muchos fabricantes calibran la inyección de vapor para alcanzar ~15% humedad en la mezcla al entrar a la peletizadora[3]. Esta cifra puede ajustarse ligeramente según la formulación: dietas muy ricas en almidón absorben más agua sin volverse líquidas, mientras que dietas con más sal o urea (que retienen menos agua libre) podrían necesitar valores algo menores para no pasarse. El operador de planta suele verificar la consistencia de la masa acondicionada (“bola” de muestra) y el amperímetro de la prensa para afinar este parámetro.

Calidad del vapor:

No solo importan la cantidad de vapor y su temperatura, sino su calidad (contenido de humedad). Un vapor saturado “húmedo” (con microgotas de agua arrastradas) entregará más agua que calor a la harina, acercándola al punto de sobrehumedad sin tanto aumento de temperatura; en cambio, un **vapor seco** (saturado a menor presión, con condensado removido) aporta más calor por cada 1% de humedad añadida[3]. Las plantas cuentan con **rampas reductoras de vapor**: por ejemplo, de 10 bar en caldera se baja a ~3 bar en acondicionador, separando el agua condensada en el trayecto[3]. Esto produce un efecto tipo *Föhn*: al expandirse y eliminar humedad condensada, el vapor que llega es más seco y caliente[3]. ¿El resultado? Por cada kg de vapor incorporado, se eleva más la temperatura de la harina con menos incremento de humedad. El mantenimiento de trampas de condensado y válvulas en este sistema es fundamental (como vimos en mantenimiento) para lograr ese vapor óptimo. Con vapor seco es posible alcanzar, por ejemplo, 85 °C con 14% humedad en harina; con vapor húmedo quizá solo 78 °C a igual humedad, lo cual representaría menor gelatinización lograda.

Compresión en la matriz (Relación L/D y velocidad):

La etapa final dentro del orificio de matriz – cuando el alimento es empujado y toma forma – es donde se fija la densidad y dureza definitiva del pellet. **Cuanto más larga y estrecha la “zona de compresión”**, mayor trabajo mecánico sufre el pellet en formación y mejor consolidado sale[3]. Por ejemplo, una matriz de 4 mm diámetro y 40 mm longitud comprime mucho ($L/D=10$), mientras que una de 8 mm diámetro y 40 mm longitud comprime menos ($L/D=5$). En un estudio citado, al aumentar la longitud de compresión de 29 mm a 44 mm (con pellets de igual diámetro), la durabilidad del pellet subió de ~60% a ~80%, pero la producción de la máquina cayó de ~1500 kg/h a ~500 kg/h debido al mayor rozamiento[3]. Esto ilustra la **relación inversa entre calidad y rendimiento** a nivel de prensa, mencionada previamente[3]. Por eso, en fábrica,

seleccionar la matriz es crítico: para pollos y cerdos se suele priorizar calidad (L/D más alta) dado que la mejora en conversión alimenticia compensa producir algo menos por hora. En rumiantes, a veces se acepta un pellet más frágil a cambio de mayor capacidad (L/D más baja), pues su sistema ruminal no requiere pellets tan duros.

Otro aspecto es la **velocidad de producción (carga de la máquina)**: Si se fuerza la peletizadora a funcionar cercana a su máxima capacidad, cada partícula pasa menos tiempo siendo comprimida, reduciendo ligeramente la cohesión obtenida[3]. Trabajar al 80–90% de la capacidad nominal suele ser un buen compromiso para no sacrificar demasiada calidad por productividad. También la **alineación y separación rodillo-matriz** importan: un ajuste adecuado (rodillos girando con cierta presión constante contra la matriz) asegura compresión uniforme. Si se afloja este ajuste por desgaste, la presión disminuye y el pellet sale más liviano. Esto refuerza la idea de mantenimiento constante.

Enfriamiento controlado:

Aunque el enfriamiento es posterior al acondicionamiento y compresión, se menciona aquí por su efecto en la consolidación final. Un enfriamiento excesivamente rápido o desigual podría generar tensiones en el pellet (diferente contracción centro-superficie) provocando fisuras internas. Por eso los enfriadores están diseñados para no sobrepasar ciertos caudales de aire: se busca enfriar **lentamente en 10–15 minutos**, evitando choque térmico severo. La diferencia típica de temperatura pellet-ambiente se cierra gradualmente (de ~70°C a 25°C). Este proceso permite que la **estructura interna del pellet se establezca** sin agrietarse. Los operadores monitorean que la temperatura de salida del pellet no sea mucho más de 5–10°C superior a la ambiental; si es más alta, podrían quedar más blandos y rehumedecerse fácilmente en silos.

En resumen, **lograr pellets de alta calidad** exige *afinar el acondicionamiento* (dando la temperatura y humedad justas con vapor seco) y *asegurar la compresión adecuada* (matriz con L/D suficiente, máquina bien ajustada y sin sobrecargar). Estos factores trabajan en sinergia: un bien acondicionado alimento necesita menos esfuerzo de compresión para formar un pellet resistente[1]. Por el contrario, si la masa llega subgelatinizada, ni siquiera una matriz larga corregirá del todo la falta de unión interna. Por eso se dice que *“la calidad del pellet se cocina en el acondicionador”*. Por último, bajo condiciones óptimas de acondicionado y compresión, se obtienen pellets duros con pocos finos, listos para aportar sus beneficios en la nutrición animal.

Factores que determinan la calidad física del pellet

A modo de resumen, conviene listar los **principales factores** que influyen en la calidad física del pellet (durabilidad, dureza, % de finos). Muchos ya se han descrito a lo largo del informe, pero integrémoslos en conjunto para tener la visión completa:

Tamaño de partícula

 $\leq 3 \text{ mm}$

Molienda fina favorece pellets más duros (más superficie de unión). Idealmente, <20% partículas >1 mm y suficiente fracción <0.5 mm.

Humedad en acondicionado

~15 %

Nivel óptimo de agua en la harina para lograr plasticidad sin ablandamiento excesivo. Sobre 18% de humedad, la calidad cae drásticamente.

Temperatura de vapor

85–90 °C

Rango típico que garantiza gelatinización. Cada 10°C de aumento puede mejorar la durabilidad del pellet en ~5–10 puntos.

Relación de compresión

Alto L/D

Matrices más gruesas (L/D elevado, p.ej. 8×64 mm) producen pellets más densos. Un mayor tiempo bajo presión incrementa la resistencia mecánica.

Grasa en la dieta

< 3 %

Incluir menos de 3% de aceite antes del peletizado. Excesos de grasa lubrican y debilitan el pellet; añadir grasa extra solo tras el granulado.

Enfriamiento

Progresivo

Enfriar lentamente hasta ~5°C por sobre ambiente. Un pellet bien enfriado tiene humedad final ~12% y estructura interna estable, sin grietas.

- **Granulometría de la harina:** *Cuanto más fina, mejor pellet*, hasta cierto punto. Una molienda adecuada podría definirse así: *malla* que produce menos de 20% de partículas >1 mm, y al menos 20% <0.3 mm^[4]. Esto coincide con recomendaciones de **Bühler** para alimentos a granular: un 20–25% de partículas finas (<0,5 mm) es necesario para llenar huecos y cohesionar el pellet^[4]. Si la molienda es demasiado gruesa (muchos trozos de >2–3 mm), habrá puntos débiles en el pellet (esas partículas grandes no se unen bien y se desprenden). Por otro lado, una harina extremadamente pulverizada (p. ej. >50% bajo 0.3 mm) genera polvo que puede saturar el acondicionador o fugarse como finos. En la práctica, se busca un equilibrio: obtención de harina **uniforme y predominantemente fina**, sin extremos. Un control fácil es medir el **Índice de Uniformidad** (razón de diámetro geométrico de partícula y desviación) y ajustarse a rangos típicos según especie. La granulometría adecuada garantiza **superficie de contacto óptima** para que vapor y compresión actúen, resultando en pellets fuertes.
- **Composición de la dieta:** Ya analizada en detalle. Resumiendo: alto almidón y cierta proteína (cereales, soya) **favorecen** la formación de pellets duros; alto contenido de fibra bruta **perjudica** la compactación si no se contrarresta (p. ej. con molienda más fina o aglutinantes)^[1]; grasa excesiva **reduce fricción** y da pellets blandos, por lo que debe limitarse antes del prensado^[1]. Además, ingredientes con propiedades ligantes naturales (melazas, subproductos de trigo) pueden utilizarse estratégicamente para mejorar la cohesión, mientras que en fórmulas “difíciles” conviene considerar aditivos aglutinantes

comerciales (lignosulfonatos, bentonita, etc.) para elevar la durabilidad si es necesario.

- **Parámetros del acondicionamiento (Humedad/Temperatura):** Son de los factores más críticos. Una **temperatura adecuada** (normalmente 80–90 °C) con **humedad óptima** (~15%) genera la plasticidad precisa de la masa[3]. De esta etapa dependen muchos fenómenos micro: gelatinización del almidón (que tras enfriar actúa como “cemento” solidificado), desnaturalización de proteínas (exponiendo grupos que forman enlaces entre sí), y formación de puentes de humedad entre partículas. *Un pellet bien cohesionado es indicio de un acondicionamiento que llegó a su punto dulce.* Cualquier desviación (baja Tª o baja humedad: pellet crudo; o alta humedad: pellet demasiado blando) se reflejará en la calidad final. Controlar vapor seco, proporción de acondicionado, y mantener el equipo limpio, logra reproducibilidad en esta fase.
- **Diseño y estado de la matriz/rodillos:** Elegir la **matriz correcta** para la especie es esencial. Por ejemplo, para pollos de engorde se suelen usar orificios de 3–4 mm diámetro con L/D alrededor de 8–12, lo que proporciona pellets firmes de fácil consumo. Para cerdos de engorde, orificios de 4–5 mm con L/D ~10–16 funcionan bien. Además, estos elementos deben estar en buen estado – rodillos con surcos intactos, matriz no gastada – para mantener la presión. Una matriz desgastada puede aumentar los finos en varios puntos porcentuales y bajar el índice de durabilidad significativamente, aun si todo lo demás permanece igual. Por ello, parte de asegurar la calidad física del pellet es hacer **inspecciones regulares** de estos componentes y reemplazarlos cuando superan su vida útil.
- **Enfriamiento y manejo de finos:** Un pellet puede salir de la prensa bien cohesionado, pero **si no se enfría correctamente, puede degradarse**. Un enfriamiento progresivo asegura que el pellet endurezca desde el exterior hacia el centro de forma uniforme. Si se enfriara bruscamente (p.ej. aire muy frío o exceso de flujo), podría formarse condensación superficial o tensiones internas que agrietan el pellet. Asimismo, posterior al enfriado es crucial separar los finos: una criba mal calibrada que deje pasar gránulos pequeños junto al producto empaquetado implicará que el cliente reciba más polvo, afectando la percepción de calidad e incluso la conversión alimenticia (los finos demasiado pequeños pueden ser rechazados o no consumidos plenamente por los animales). Lo ideal es que el pellet enviado tenga un **Índice de Durabilidad (PDI) por encima del 95%** (es decir, <5% de finos tras simular manipulación)[1]. Valores más bajos (p.ej. 85% PDI = 15% finos) indican mejora pendiente en alguno de los factores mencionados.

En conclusión, la **calidad física del pellet** es multifactorial. Cada etapa del proceso aporta su cuota, y todas deben sincronizarse: **formulación adecuada, molienda homogénea, acondicionamiento óptimo, peletizadora bien ajustada, enfriamiento lento y cribado eficaz**. Cuando todos estos elementos se controlan, se obtienen pellets resistentes (PDI alto, dureza uniforme) que permitirán expresar plenamente sus ventajas en campo. Si alguno falla, la calidad se resiente – a veces de forma evidente (pellets rotos, exceso de polvo) o a veces de forma sutil detectada solo en análisis de durabilidad o en el rendimiento animal.

Efecto del peletizado en la nutrición y los resultados zootécnicos

El objetivo último de producir alimento peletizado es **mejorar el desempeño productivo de los animales**. Un pellet de buena calidad física tiene impactos positivos en el consumo y la utilización del alimento por parte de especies monogástricas (cerdos y aves). A continuación, se describen los principales efectos del uso de pienso granulado sobre la nutrición y los parámetros zootécnicos, con especial énfasis en cerdos y pollos:

Mayor consumo voluntario de alimento:

Los animales suelen consumir más cantidad de pienso cuando este está en pellet en lugar de harina. En pollos de engorde, la forma granulada reduce el tiempo y energía dedicados a comer (no necesitan husmear ni seleccionar partículas), lo que típicamente se traduce en un **incremento de la ingestión diaria**. Estudios clásicos y de campo reportan que pollos con dietas peletizadas pueden comer hasta un ~10% más que aquellos con dieta en harina suelta, especialmente en fases iniciales de crecimiento^[1]. En cerdos, el pellet también mejora la palatabilidad y facilidad de ingestión; cerdos de engorde alimentados con pellet tienden a alcanzar antes la saciedad productiva, ingiriendo más rápido su ración. Esto es benéfico para lograr pesos de mercado en menos tiempo.

Mejora de la conversión alimenticia (eficiencia):

Este es el efecto más documentado. Debido a la menor selección de ingredientes y a la **mayor digestibilidad** resultante del tratamiento térmico, los animales convierten mejor el alimento en peso. En pollos de engorde, se ha observado que dietas en pellet de alta calidad (con pocos finos) mejoran la **tasa de conversión (IC)** en aproximadamente un 5–15% respecto a la misma dieta en forma de harina^{[1][2]}. Por ejemplo, un estudio mostró que pasar de 0% a 60% de finos en el pienso elevaba el índice de conversión de ~2.0 a ~2.3 (es decir, empeoraba un 15%), indicando cuán importante es la integridad del pellet^[1]. En cerdos de engorde, Kansas State University encontró que los cerdos con pienso totalmente peletizado consumían menos alimento por kg de ganancia: la conversión mejoró cerca de un 6–8% comparado con cerdos alimentados con pienso en harina^[2]. Esto significa un ahorro de alimento y menor costo por kilo producido. La razón es doble: el pellet reduce las pérdidas (cada cerdo ingiere todo lo ofrecido, no hay polvo desperdiciado) y aumenta la digestibilidad del almidón y posiblemente de proteínas por el gelatinizado/cocción parcial que ocurre en el acondicionamiento^[1]. Además, el animal gasta menos energía en comer y masticar, energía que puede destinar al crecimiento.

Ganancia de peso más rápida:

Consecuencia de mayor consumo y mejor conversión es una **mayor ganancia diaria de peso**. En pollos, la diferencia es notable: a 42 días, lotes alimentados con pellet pueden pesar 4–8% más que sus pares con alimento en migajas o harina, dependiendo de la calidad del pellet y manejo^[1]. En cerdos, el efecto es más acusado en fases tempranas

(crecimiento inicial), donde la energía ahorrada en la ingestión y la mejor digestibilidad impulsan el crecimiento. Por ejemplo, en cerdos de 25–50 kg, se ha medido que aquellos con dieta peletizada lograron ≈ 30 g/día más de ganancia que con la misma dieta en harina, incluso con consumos similares, gracias a la mejor eficiencia alimenticia lograda[2]. En fases de acabado, el beneficio en GMD puede ser menor pero aún presente. Esto se traduce en **animales que alcanzan el peso objetivo varios días antes**, mejorando el ciclo productivo de la granja.

Menos desperdicio y mejor uniformidad en corrales:

Con pellet casi no hay polvo que se pierda en tolvas o sea arrastrado por el viento. En cerdos, esto puede sumar hasta un 5% de ahorro de alimento frente a sistemas con harina, donde el movimiento de los animales suele tirar alimento al suelo o formar polvo no consumido[1]. Además, todos los animales ingieren la dieta completa tal cual formulada, sin discriminación. En cambio, con alimento en harina, se ha observado que los cerdos a veces seleccionan (juegan empujando alimento para encontrar partículas más grandes o sabrosas) y en aves ponedoras es típico que rechacen partículas gruesas si pueden. El pellet elimina esa posibilidad: *cada bocado contiene la mezcla balanceada de nutrientes*. Esto suele reflejarse en una **mejor uniformidad de pesos** en el lote. Por ejemplo, en pollos, la desviación estándar de pesos en la caseta suele ser menor con pellet, porque incluso los animales de menor jerarquía comen suficientes nutrientes (no quedan solo las sobras finas, como ocurriría con harina). La homogeneidad mejora el rendimiento global y facilita programar la salida al mercado.

Efectos en la digestión y salud intestinal:

El peletizado implica calor, que puede inactivar ciertos antinutrientes (por ejemplo, factores antitripsicos en la soya, ureasa, etc.) y aumentar la digestibilidad del almidón. Esto **mejora el aprovechamiento nutritivo**. Sin embargo, hay algunas consideraciones: en aves, la ausencia de partículas fibrosas más grandes en dietas 100% pellet puede reducir el desarrollo de la molleja y la motilidad gastrointestinal. Se sabe que una molleja menos activa (por dieta muy molida y peletizada) puede predisponer a trastornos como la salmonelosis, pues la molienda gizzard no cumple su rol bacteriostático. Por eso, una práctica en parrilleros es proporcionar **grit o pequeños cantos** y a veces un 10% de grano entero con el pellet para estimular la molleja sin perder las ventajas del pellet. En cerdos, el pellet fino (molienda muy fina + pellet) puede incrementar la incidencia de úlcera gástrica en fases de engorde, debido a que el estómago recibe partículas muy pequeñas que pueden alterar la mucosa. Estas consideraciones sanitarias aconsejan que el molino de martillos no sea demasiado extremo en reducción de tamaño para monogástricos, conservando una pequeña fracción gruesa. De hecho, la tendencia moderna (como se mencionó en la sección de granulometría) es **aumentar ligeramente el tamaño de partícula promedio** por salud intestinal, pero **compensando** con mejor acondicionado u otros factores para no perder calidad de pellet[3].

Resultados zootécnicos globales:

Sumando todos los efectos, el uso de pienso peletizado de calidad suele mejorar: **Índice de Conversión, Ganancia Media Diaria, uniformidad y días a mercado**. Por ejemplo,

integradoras avícolas reportan que el pellet les permitió reducir el IC de 1.80 a 1.70, y acortar 1–2 días el periodo de engorde para el mismo peso final, significando ahorros sustanciales en alimento (principal costo)[1]. En porcino, un meta-análisis de varias pruebas halló una mejora promedio del 5% en conversión y 3–4% en GMD con pellet vs harina, lo que en una engorda comercial representa kilos adicionales vendidos con menos pienso consumido. **Eso sí, la magnitud de estos beneficios depende directamente de la calidad del pellet:** si el pellet se deshace (muchos finos), los animales no expresarán totalmente estas ventajas[2]. Es crucial entonces que el pellet llegue al comedero íntegro. Estudios en cerdos muestran que dietas pelletizadas con 30–40% de finos pierden gran parte de la mejora en conversión, equiparándose casi a la harina[2]. Igualmente, en pollos Quentin *et al.* (2004) encontraron que lotes alimentados con pellet de 0% finos ganaban peso significativamente más rápido que con 50% de finos – prácticamente el pellet “malo” se comportó como alimento en harina[1].

En resumen, la **granulación del pienso** tiene un impacto muy positivo en la productividad de cerdos y aves, siempre que se logre un pellet físico de buena calidad. Ofrece más energía neta al animal (menos esfuerzo al comer, mejor digestión) y reduce desperdicios, traducándose en mejoras de conversión alimenticia del orden de 5–10% y aumentos de crecimiento. Esto se traduce económicamente en mejor rentabilidad para el productor pecuario. No obstante, es importante monitorear posibles efectos colaterales (salud digestiva, úlceras) y mitigarlos con medidas de manejo (grit, ajustes en fibra). En la actualidad, el peletizado es una práctica estándar en nutrición de monogástricos justamente porque, cuando se optimiza, **eleva la eficiencia alimentaria y los resultados zootécnicos a niveles difíciles de alcanzar con pienso en harina**[1][2].

Resumen y Conclusión:

La fabricación de pienso en pellet es un proceso que combina conocimientos de **ingeniería de procesos** (molienda, termodinámica del vapor, mecánica de compresión) con **ciencia de los alimentos** (propiedades de ingredientes, nutrición) para producir un alimento técnicamente superior. Un pellet de alta calidad física – logrado mediante el control estricto de granulometría, acondicionamiento, peletizado y enfriado, junto con un buen mantenimiento de planta – ofrece **mejores desempeños productivos** en cerdos y aves, aprovechando al máximo el potencial genético y nutricional. Por ello, en entornos de costos de insumos elevados, se suele decir: “*mejor un buen granulado que una mala harina*”[4], enfatizando que invertir en calidad de pellet es rentable. Alcanzar esa calidad requiere atención a cada detalle mencionado, pero los beneficios en conversión, ganancia y salud animal justifican plenamente el esfuerzo didáctico y técnico en la formación de nuevos empleados de operaciones en este ámbito. Con comprensión de estos principios, podrán contribuir a fabricar pellets excelentes que resulten en animales bien alimentados y eficientes, cerrando así el círculo virtuoso entre proceso de fabricación y rendimiento zootécnico. [1][2]

References

- [1] [nutrinews marzo 2019-GARCIA-MEDEL-Calidad-Granulacion-Influencia-Partel](#)
- [2] [Resumen articulo finos en crecimiento de cerdos](#)
- [3] [nutriNews-Junio2019-GARCIA-MEDEL-Calidad-Granulacion-PartelI](#)
- [4] [La-importancia-de-la-calidad-fisica-del-pienso-ante-la-nueva-situacion-de-los-costes-de-fabricacion](#)
- [5] [Optimization of Parameters for](#)

Bibliografía

- Amerah, A. M., Ravindran, V., Lentle, R. G., & Thomas, D. G. (2007). Feed particle size: Implications on the digestion and performance of poultry. *World's Poultry Science Journal*, 63(September). <https://doi.org/10.1017/S0043933907001560>
- Badger, P., Otott, H., Paulk, C. B., Stark, C. R., & Donnelly, A. (2022). Effects of Pellet Quality on Growth Performances of Pigs When Fed Diets During Varying Weight Ranges [Resumen]. *Journal of Animal Science*, 101(Suppl. S2), 36.
- Badger, P. A., Otott, H. K., Donnelly, A., Stark, C. R., & Paulk, C. B. (2022). Effect of Percent Fines in Pelleted Diets on Growth Performance of Grow-Finish Pigs During Three Phases of Production. *Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports*, 8(10), Artículo 41. <https://doi.org/10.4148/2378-5977.8409>
- Islam, M. S., & Haque, M. M. (2016). Quality Control of Raw Materials for Poultry Feed. *Journal of Poultry Science and Technology*, 4(2), 19–27.
- Kenny, M., & Rollins, D. (2007). *Calidad física del pienso* (Ross Tech 07/45). Aviagen.
- Milanovic, S. (n.d.). *Literature review on the influence of milling and pelleting on nutritional quality, physical characteristics, and production cost of pelleted poultry feed* (Tesis de maestría). Norwegian University of Life Sciences.
- Moss, A. F., Chrystal, P. V., Crowley, T. M., & Pesti, G. M. (2021). Raw material nutrient variability has substantial impact on the potential profitability of chicken meat production. *Journal of Applied Poultry Research*, 30, 100129. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2020.100129>
- Thapa, S. (2017). *Optimization of parameters for the densification (pelletization) of cereal crop residues and feasibility study of pellet plant development in the state of Arkansas from economic perspective* (Tesis doctoral). Arkansas State University.
- Tretola, M., Lin, P., Eichinger, J., Manoni, M., & Pinotti, L. (2025). Review: Nutritional, safety, and environmental aspects of former foodstuff products in ruminant feeding. *Animal*. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2025.101512>

- **Vukmirović, Dj. M., Lević, J. D., Fišteš, A. Z., Čolović, R. R., Brlek, T. I., Čolović, D. S., & Đuragić, O. M.** (2016). Influence of grinding method and intensity of grinding corn on mill energy consumption and quality of obtained pellets. *Hemijska industrija*, 70(1), 67–72. <https://doi.org/10.2298/HEMIND141114012V>
- **You, J., Ellis, J. L., Tulpan, D., & Malpass, M. C.** (2024). Review: recent advances and future technologies in poultry feed manufacturing. *World's Poultry Science Journal*, 80(3), 643–655. <https://doi.org/10.1080/00439339.2024.2323536>
- **Zhu, L., Spachos, P., Pensini, E., & Plataniotis, K. N.** (n.d.). *Deep Learning and Machine Vision for Food Processing: A Survey*.