



Abanico Boletín Técnico. Enero-Diciembre, 2023; 2:1-10.

Artículo de Investigación. Clave: e2023-10. <https://doi.org/10.21929/abanicoboletin/2023.10>

Efecto del aceite de canola o aceite crudo de soya sobre la durabilidad del pellet para cobayos adicionado con aluminosilicato

Effect of canola oil or crude soybean oil on pellet durability for guinea pigs supplemented with aluminosilicate

Alberto Macias-Flores^{*1ID}, Carlos Carmona-Gasca^{2ID}, Rosario Martínez-Yañez^{3ID}, Oscar Barrón-Bravo^{4ID}, Ranferi Gutiérrez-Leyva^{2ID}, Fidel Avila-Ramos^{3ID}**

¹Universidad de Guanajuato, Campus Irapuato – Salamanca, Maestría en producción Pecuaria, México.

²Universidad Autónoma de Nayarit, Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Nayarit, México. ³Universidad de Guanajuato, Campus Irapuato – Salamanca, Departamento de Veterinaria y Zootecnia, México. ⁴Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Noreste, Campo Experimental Las Huastecas, Altamira, Tamaulipas, México. *Autor responsable: Alberto Macias-Flores, **Autor de correspondencia: Fidel Avila-Ramos, ExHacienda el Copal,

Carretera Irapuato-Silao km 9, CP 36500 Irapuato, Guanajuato, México. E-mail: ma.maciasflores@ugto.mx, carmonagasca@yahoo.com.mx, ar.martinez@ugto.mx, oscarbarronb@hotmail.com, granferi@hotmail.com, ledifar@ugto.mx.

RESUMEN

El índice de la durabilidad del pellet (PDI) es la medida internacional usada para determinar su calidad física que puede variar de acuerdo a los ingredientes usados para elaborar la dieta. El objetivo de la investigación fue conocer el efecto del aceite canola (AC) o aceite de soya crudo (ASC) sólo o combinado con aluminosilicato sobre el PDI en pellet alto en fibra. Se elaboró una dieta a base de maíz, pasta de soya y alfalfa deshidratada adicionada con AC o ASC como fuente concentrada de energía adicionada o no con aluminosilicato para su peletizado sin usar acondicionamiento térmico. Las variables estudiadas del pellet obtenido fueron: PDI (pellet durability index), longitud, densidad, resistencia al agua, humedad y cenizas. Para analizar los factores de estudio se usó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 2 x 2, donde el factor A fue el nivel de aglutinante (0 ó 10 g por kg de alimento) y el factor B, la fuente concentrada de energía AC o ASC. En los resultados hubo interacción entre la cantidad de aluminosilicato adicionado en el alimento con la fuente concentrada de energía, 10 g de aluminosilicato combinados con AC presentaron mayor PDI 85.8 % ($P \leq 0.05$) comparado con ASC que logró el 73.6 % de PDI. La longitud, densidad, resistencia al agua, humedad y cantidad de cenizas en el pellet no fueron modificadas por efecto del aluminosilicato o el aceite adicionado a la dieta. Se concluye que adicionar 10 g de aluminosilicato por kg de alimento para cuyo el PDI aumenta 19.2 % la durabilidad del pellet con aceite de canola y 7.6 % con el aceite de soya crudo.

Palabras clave: durabilidad, pellet, calidad, cuye.



ABSTRACT

The Pellet Durability Index (PDI) is the international standard used to assess the physical quality of pellets, which can vary depending on the ingredients used in the diet formulation. The objective of this study was to evaluate the effect of canola oil (CO) or crude soybean oil (CSO), alone or combined with aluminosilicate, on the PDI of high-fiber pellets. A diet based on corn, soybean meal, and dehydrated alfalfa was formulated, supplemented with CO or CSO as concentrated energy sources, with or without aluminosilicate, and pelleted without thermal conditioning. The variables analyzed in the resulting pellets included: PDI (Pellet Durability Index), length, density, water resistance, moisture content, and ash content. A completely randomized factorial design (2×2) was used to analyze the factors, where Factor A was the binder level (0 or 10 g per kg of feed), and Factor B was the concentrated energy source (CO or CSO). Results showed an interaction between the amount of aluminosilicate added and the energy source: 10 g of aluminosilicate combined with CO yielded the highest PDI at 85.8 % ($P \leq 0.05$), compared to CSO, which reached 73.6 %. Pellet length, density, water resistance, moisture, and ash content were not affected by the addition of aluminosilicate or oil type. It is concluded that adding 10 g of aluminosilicate per kg of feed increases pellet durability by 19.2 % when using canola oil and by 7.6 % when using crude soybean oil.

Keywords: durability, pellet, quality, guinea pigs.

INTRODUCCIÓN

El pellet es la presentación física del alimento ideal para los animales debido a que aumenta su densidad comparada con el alimento en harina, facilita su manejo, disminuye desperdicios, aumenta la ganancia de peso y conversión alimenticia de los animales (Freitas *et al.*, 2008; Abdollahia *et al.*, 2013). Sin embargo, elaborar pellet de alimentos especiales es un proceso complejo debido al costo del equipo usado para su manufactura convirtiéndose en una limitante en cantidades pequeñas (Aarseth & Prestlækken, 2003; Freitas *et al.*, 2008).

El proceso de peletizado permite moldear partículas pequeñas de alimento en harina para obtener un compactado de mayor tamaño de forma cilíndrica con diferente diámetro y longitud de acuerdo con la especie para alimentar. Como regla general de calidad el pellet debe tener características físicas que le permitan soportar su almacenamiento y transporte hasta llegar al comedero de los animales con la mayor integridad posible. Sin embargo, sus características pueden variar debido a los ingredientes usados para balancear la dieta, el tamaño de la partícula del molido, su contenido de humedad, la fuente concentrada de energía, el acondicionamiento térmico antes de peletizar, los ingredientes en la dieta y la máquina usada para fabricarlo el pellet (Thomas *et al.*, 1997; Kim *et al.*, 2018).

En alimentos balanceados las fuentes concentradas de energía sirven como sustratos metabólicos, los carbohidratos obtenidos de los granos y las grasas son los más utilizados (Baião & Lara, 2005). Los aceites elegidos para elaborar los alimentos tienen diferentes características propias de su origen botánico, pero son elegidos principalmente por su precio de mercado y disponibilidad (Briggs *et al.*, 1999). El aceite de soya crudo es un insumo de excelente calidad, pero adquirirlo en pequeña escala es complicado. Agregar



aceite de canola al alimento mejora la calidad de la carne por su aporte de omega 3 y 6, aunque debe considerarse la posible oxidación de las grasas ([Avila-Ramos et al., 2012](#)). Durante la fabricación del pellet el tipo de grasa y la cantidad adicionada puede tener efecto sobre el índice de durabilidad de pellet (PDI), ésta es una medida cuantitativa internacional usada para conocer su resistencia y se determina conociendo la cantidad de polvo producido por el pellet expuesto a golpes mecánicos. Durante la prueba los pellets se golpean entre ellos o con la pared metálica del equipo, por lo tanto, si produce más finos su calidad física es menor ([Muramatsu et al., 2015](#)).

El sistema de acondicionamiento térmico antes del pelletizado del alimento es un factor vital para obtener pellet de buena calidad física, el proceso aumenta la humedad de la harina, por lo tanto, la capacidad de las partículas para formar el pellet es mayor debido a que baja la fuerza de fricción de la harina aumentando el índice de la durabilidad del pellet producido ([Briggs et al., 1999](#)). En contraste, un sistema de producción de pequeña escala se debe sustituir el acondicionamiento térmico por estrategias que puedan incrementar el PDI. Por lo tanto, el objetivo de la investigación fue conocer el efecto que tiene el aceite de canola o aceite de soya combinado con aluminosilicato como adhesivo sobre la durabilidad del pellet.

MATERIAL Y MÉTODOS

Elaboración del alimento

Para realizar el experimento se elaboró una dieta a base de maíz, alfalfa deshidratada y pasta de soya adicionada con AC o ACS (Tabla 1) para cobayos calculada con fibra al 10.10 %, adicionada con aluminosilicato a base de bentonita que contiene Al_2O_3 y SiO_2 (Aglutecmin®).

Elaboración del pellet

Para elaborar el pellet se utilizó una máquina peletizadora con barreno 8.4 mm de entrada y 8.0 mm de salida, disco de 120 mm de longitud y 24 mm de grosor. El dado de compresión mecánica con ranura de 3.5 mm de ancho y 3.0 mm de profundidad, motor eléctrico de 3 Hp a 127 volts con transmisión de 50 kg por hora sin acondicionamiento térmico, modelo: PLM0021, NS: PLED22062016.

Índice de durabilidad del pellet

El pellet frío se colocó en un tamiz del número 5, con apertura de 4.75 mm para eliminar el exceso de finos, posteriormente se toma una muestra de 500 g para colocarlo en el probador durante 10 min a 50 rpm, 5 repeticiones por tratamiento. Al final el pellet se tamiza por segunda ocasión, para obtener el PDI los g de pellets acumulados en el tamiz después de la agitación se dividen entre el peso de la muestra inicial (500 g) y el valor obtenido de multiplica por 100.



Dimensiones

Para determinar las dimensiones del pellet se midió su longitud en milímetros con ayuda de un vernier digital, se toma una muestra de 30 pellets por triplicado para cada tratamiento.

Densidad

Para conocer la densidad del pellet se usó una probeta graduada de 1,000 mL que se llena a su límite, el pellet contenido se pesó en una balanza de precisión (0.001 g) y la densidad (D) del pellet se obtuvo con la siguiente fórmula: $D = p/v$; donde: D= densidad, p= peso, v: volumen, la metodología se realiza con 10 repeticiones por triplicado.

Humedad

La humedad se determinó pesando 1 g de pellet en una estufa a 105° C hasta obtener su peso constante y se usó la siguiente fórmula $CA = (ph - ps) / (ph) \times 100$ que expresa en % el promedio 30 réplicas obtenidas por triplicado; donde: ph = peso húmedo, ps= peso seco. La metodología se realiza con 30 repeticiones por triplicado.

Resistencia al agua

La resistencia se obtiene sumergiendo el pellet en agua destilada a 27° C durante 30 segundos. El valor de resistencia al agua es el porcentaje de peso del agua absorbida por los pellets al compararlo con su peso inicial, se realizaron 30 réplicas por triplicado.

Cenizas

Se determinó colocando 1 g de pellet en un crisol a 550° C durante 6 horas, posteriormente, la muestra se coloca en un desecador hasta alcanzar los 25 °C para su pesaje. La diferencia entre el peso inicial y el peso final es la cantidad de cenizas, procedimiento realizado durante 30 ocasiones por triplicado para cada tratamiento.

Análisis estadístico

El índice de durabilidad, dimensiones, densidad, humedad, resistencia al agua y cenizas del pellet se analizaron usando un diseño factorial con arreglo factorial 2 x 2, el factor A la fuente concentrada de energía AC o ASC y factor B el nivel de aglutinante (0, 10 g por kg de alimento). Los datos obtenidos del experimento se analizaron con el procedimiento GLM de SAS versión 2000 (SAS, 2000) con el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + A_j + F_k + (AF)_{jk} + \varepsilon_{ijk}.$$

Donde: Y_{ijk} = variable de respuesta del j valor del factor A y el k valor del factor F,
 μ : la media común a todos los datos del experimento,
 A_j = efecto del j nivel de aceite,
 F_k = efecto del k nivel de aluminosilicato,
 $(AF)_{jk}$ = efecto de la interacción entre el j valor de A y el k valor de F
 ε_{ijk} = error experimental.



RESULTADOS

El índice de durabilidad del pellet presentó interacción entre la fuente concentrada de energía y el aluminosilicato ($P \leq 0.05$), 10 g de aglutinante por kg de alimento combinado con aceite de canola aumentó el índice de durabilidad a 85.8 % comparado con el aceite de soya crudo que logró el 73.6 % (Figura 1). La longitud, densidad, resistencia al agua, humedad y cantidad de cenizas en el pellet no fueron afectadas por el aceite adicionado a la dieta o aluminosilicato (Tabla 2).

Tabla 1. Composición química de la dieta (%)

Ingrediente	AC ¹	ACS ²
Maíz	43.78	43.78
Alfalfa deshidratada	30.00	30.00
Pasta de soya	21.50	21.50
Aceite canola	2.90	0.00
Aceite de soya	0.00	2.90
Carbonato de calcio (38%)	0.20	0.20
Ortofosfato (18/21)	1.01	1.01
Sal	0.30	0.30
Premezcla de vitaminas ³	0.01	0.01
Premezcla de minerales ⁴	0.02	0.02
DL-metionina	0.28	0.28
Análisis calculado		
Fibra	10.10	10.10
EM (Mcal kg ⁻¹)	2.90	2.90
PC	18.90	18.90
Ca	0.80	0.80
Pd	0.40	0.40
Lys	1.00	1.00
Met	0.60	0.60
Met+Cis	0.80	0.80
Thr	0.80	0.80
Trp	0.20	0.20
Arg	1.10	1.10
Gly+Ser	1.20	1.20
His	0.30	0.30
Ile	0.90	0.90
Leu	1.20	1.20
Phe	0.70	0.70
Phe+Tyr	1.10	1.10
Val	1.00	1.00
Ácido linoleico	1.00	1.00

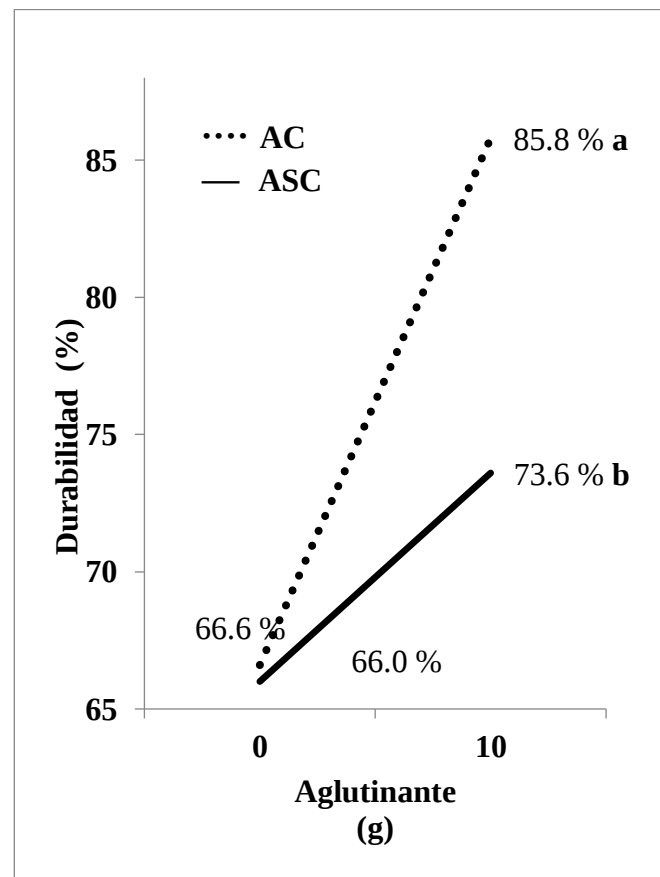
¹AC= Aceite de canola. ²AC= Aceite crudo de soya. ³Cantidad en mg por kg de alimento: vitamina A, 10,000 IU; vitamina D3, 2,500 IU; vitamina K3, 2 mg; tiamina, 2 mg; riboflavina, 7 mg; ácido pantoténico, 10 mg; piridoxina, 4 mg; ácido fólico, 1 mg; Vitamina B12, 0.015 mg; y biotina 0.010 mg (Vipresa.), Tepatitlán de Morelos, México. ⁴Cantidad en mg por kg de alimento: Se, 0.20; I, 0.30; Cu, 7; Fe, 65; Zn, 75; Mn, 65; y Co, 0.4 (Vipresa), Tepatitlán de Morelos, México.



DISCUSIÓN

El PDI es una técnica estandarizada usada para medir la durabilidad del pellet en las plantas de los alimentos balanceados. La integridad física del pellet puede variar debido a los ingredientes usados para elaborar los alimentos, el tamaño de las partículas del molido, su acondicionamiento térmico, la máquina, el dado de la peletizadora y el enfriado del pellet. Sin embargo, el tipo y la cantidad de grasa o aceite adicionados al alimento han sido identificadas como las principales causas que pueden afectar su calidad (Briggs *et al.*, 1999; Muramatsu *et al.*, 2015).

Los resultados obtenidos en la investigación indican que la durabilidad del pellet no fue afectada por la fuente concentrada de energía adicionada al mismo nivel. Sin embargo, se han reportado problemas de PDI adicionando el 2% de grasa a la dieta y aumentan las fallas como incrementa el porcentaje de aceite o grasa adicionado en el alimento (Thomas *et al.*, 1997; Aarseth & Prestløkken, 2003).



^{a,b} Medias con diferente letra son diferentes estadísticamente ($P \leq 0.05$).

Figura 1. Índice de durabilidad de pellet adicionado con aceite decanola (AC) o aceite de soya crudo (ASC) y dos niveles de aluminosilicato (0 y 10 g por kg de alimento)



Tabla 2. Efecto del aluminosilicato y tipo de aceite sobre las características físicas del pellet (n=12)

Compactante ¹ (g)	Aceite	Longitud (mm)	Densidad (g po L)	Resistencia al agua (g)	Humedad (%)	Cenizas (g)
0	AC ²	17.80	659.32	35.06	10.43	5.87
	ASC ³	19.60	664.84	38.85	10.72	6.03
10	AC	20.30	660.76	31.50	12.12	6.18
	ASC	20.80	660.04	33.42	10.26	5.91
EEM ⁴		0.53	2.52	1.06	0.37	0.05

¹= Aglutecmin® peletizante para alimentos, SAGARPA: A-7853-006.

²AC= aceite de canola.

³ASC= aceite crudo de soya.

⁴EEM= error estándar de la media.

En el experimento el alimento preparado con aceite de canola o aceite de soya no adicionado con aluminosilicato presentó un PDI similar del 66.6 vs 66.0%. Pero al adicionar aluminosilicato al alimento el PDI aumentó el 19.2% para la dieta con aceite de canola y 7.6% para la dieta con aceite de soya. El mayor PDI se logró debido a que el aceite de canola interactúa mejor con la humedad durante el proceso de peletizado aumentando las características físicas del pellet comparado con el aceite de soya crudo (Thomas *et al.*, 1997). Los resultados de la investigación indican que sólo al cambiar la fuente concentrada de energía al mismo nivel de inclusión con el aluminosilicato tiene efecto directo sobre el PDI, sin necesidad de aumentar el porcentaje de la grasa. Los resultados no indican que la fuente concentrada de energía tenga efecto directo sobre la durabilidad del pellet al mismo nivel de inclusión como ha sido mencionado en otra investigación (Muramatsu *et al.*, 2015).

Durante la fabricación de los pellets al cambiar un ingrediente en la dieta se modifica la compresión física del dado para disminuir o incrementar la variación de PDI. Por ejemplo, adicionar 20% de DDGS en una dieta disminuye el PDI 6.5% en pellet producido debido a que la densidad del ingrediente nuevo es menor comparada con el ingrediente original (Kim *et al.*, 2018). Pero al usar materiales fibrosos en la dieta las propiedades mecánicas del pellet disminuyen el 20% aproximadamente (Karamchandani *et al.*, 2018). En nuestra investigación adicionar el 30% de alfalfa deshidratada a la dieta disminuyó el PDI 34% debido a la baja densidad del heno que dificulta transportar y distribuir el calor durante el peletizado afectando su capacidad de compactación si lo comparamos con el maíz.

Una alternativa para aumentar la dureza del pellet cuando usamos aceites o materiales fibrosos es adicionar un aglutinante. Por ejemplo, la bentonita de sodio de 7 a 15 g/kg de alimento incrementó su calidad del 5 a 15% el PDI (Attar *et al.*, 2018). Resultados similares se observaron con el aluminosilicato en nuestro estudio que aumentó el PDI un 19.2% en pellet adicionado con aceite de canola. De la misma forma una dosis de 0.5 a



3% de lignosulfonato mejoró el 6% del PDI en una dieta adicionada con 8.5% de grasas vegetales combinadas con animales. Por lo tanto, el compactante tiene la capacidad para aglomerar las partículas debido a sus propiedades hidrofóbicas e hidrofílicas (Wamsley & Moritz, 2013).

Se debe mencionar que la formulación de la dieta tenía el 30% de alfalfa deshidratada, factor que deteriora el PDI debido a su baja transmisibilidad de calor con baja gelatinización de los almidones contenidos en el maíz obteniendo un PDI menor. Por el contrario, pellet con alta densidad con mayor cantidad de maíz se relaciona con alto valor de PDI, por lo tanto, un pellet producido con porcentajes más altos de almidón será más pellets ricos en fibra se deben adicionar con niveles altos de compactantes (6-15%) que deben evaluarse para incrementar su calidad (Moritz *et al.*, 2002; Wamsley y Moritz, 2013; Karamchandani *et al.*, 2018).

La longitud, densidad, resistencia al agua, humedad y cenizas son características físicas generales de los pellets. Pero en los artículos la información sólo aparece como referencia, no se consideran características importantes que puedan afectar el PDI en alimentos para los animales, sólo su diámetro y longitud son los valores de referencia (Wamsley & Moritz, 2013). En pellet usado para combustión se identifican las características físicas y mecánicas, por ejemplo, es normal tener pellet con humedad del 20%, una variable que puede tener efectos negativos en el alimento de los animales al favorecer el crecimiento de bacterias y hongos (White & Jayas, 2001; Prestløkken, 2003; Karamchandani *et al.*, 2018).

CONCLUSIÓN

El cambio de aceite de canola por aceite crudo de soya no tiene efecto sobre la durabilidad del pellet al mismo nivel de inclusión. Adicionar 10g de aluminosilicato por kg de alimento aumenta la durabilidad del pellet en 19.2% con aceite de canola y en 7.6% con aceite de soya crudo. La longitud, densidad, resistencia al agua, humedad y cantidad de cenizas del pellet no fueron afectadas por la fuente concentrada de energía o el compactante usado.

Conflictos de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

LITERATURA CITADA

AARSETH KA, Prestløkken E. 2003. Mechanical properties of feed pellets: weibull analysis. *Biosystems Engineering*. 84(3):349-361. [https://doi.org/10.1016/S1537-5110\(02\)00264-7](https://doi.org/10.1016/S1537-5110(02)00264-7)



ABDOLLAHIA MR, Ravindrana V, Svihus B. 2013. Pelleting of broiler diets: an overview with emphasis on pellet quality and nutritional value. *Animal Feed Science and Technology*. 179:1-23. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.10.011>

ATTAR A, Kermanshahi H, Golian A. 2018. Effects of conditioning time and sodium bentonite on pellet quality, growth performance, intestinal morphology and nutrients retention in finisher broilers. *British Poultry Science*. 59(2):190-197.
<https://doi.org/10.1080/00071668.2017.1409422>

AVILA-RAMOS F, Pro-Martínez A, Sosa-Montes E, Cuca-García JM, Becerril-Pérez CM, Figueroa-Velasco JL, Narciso-Gaytán C. 2012. Effects of dietary oregano essential oil and vitamin E on the lipid oxidation stability of cooked chicken breast meat. *Poultry Science*. 91(2):505-511. <https://doi.org/10.3382/ps.2011-01731>

BAIÃO NC, Lara LJ. 2005. Oil and fat in broiler nutrition. *Azilian Journal Poultry Science*. 7(3):129-141. <https://doi.org/10.1590/S1516-635X2005000300001>

BRIGGS JL, Maier DE, Watkins BA, Behnke KC. 1999. Effect of ingredients and processing parameters on pellet quality. *Poultry Science*. 78(10):1464-1471.
<https://doi.org/10.1093/ps/78.10.1464>

FREITAS RE, Kazue SN, Danlke F, Ramos SF, André ABN. 2008. Performance, efficiency of nutrient utilization and gastrointestinal structures of broiler chick fed in prestarter phase with ratios with different physical form. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 37(1):73-78. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982008000100010>

KARAMCHANDANI A, Yi H, Puri VM. 2018. Comparison of mechanical properties of ground corn stover, switchgrass, and willow and their pellet qualities. *Particul Sci Technol*. 36(4):447-456. <https://doi.org/10.1080/02726351.2017.1355860>

KIM JS, Hosseindoust AR, Shim YH, Lee SH, Choi YH, Kim MJ, Oh SM, Ham HB, Kumar A, Chae BJ. 2018. Processing diets containing corn distillers dried grains with solubles in growing broiler chickens: effects on performance, pellet quality, ileal amino acids digestibility, and intestinal microbiota. *Poultry Science*. 97(7):2411-2418.
<https://doi.org/10.3382/ps/pey075>



MORITZ JS, Wilson KJ, Cramer KR, Beyer RS, McKinney LJ, Cavalcanti WB, Mo X. 2002. Effect of formulation density, moisture, and surfactant on feed manufacturing, pellet quality, and broiler performance. *Journal of Apply Poultry Research*. 11(2):155-163. <https://doi.org/10.1093/japr/11.2.155>

MURAMATSU K, Massuquetto A, Dahlke F, Maiorka A. 2015. Factors that affect pellet quality: a review. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 5(5):717-722. <https://doi:10.17265/2161-6256/2015.09.002>

Soluciones de datos e inteligencia artificial (SAS). 2000. SAS/STAT Guide for Personal Computers. 8th ed. SAS Inst. Inc., Cary, NC. https://www.sas.com/es_mx/home.html#

THOMAS M, van Zuilichem DJ, Van der Poel AFB. 1997. Physical quality of pelleted animal feed. 2. contribution of processes and its conditions. *Animal Feed Science Technology*. 64(2-4): 173-192. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(96\)01058-9](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(96)01058-9)

WAMSLEY KGS, Moritz JS. 2013. Resolving poor pellet quality and maintaining amino acid digestibility in commercial turkey diet feed manufacture. *Journal of Applied Poultry Research*. 22(3):439-446. <https://doi.org/10.3382/japr.2012-00657>

WHITE NDG, Jayas DS. 2001. Physical properties of canola and sunflower meal pellets. *Canadian Biosystems Engineering*. 1(43):349-352. <https://library.csbe-scgab.ca/docs/journal/43/c0124.pdf>