



Evaluación de la calidad del huevo y el
rendimiento productivo de gallinas ponedoras
alimentadas con diferentes formas de
presentación del pienso: harina y migaja

Pau Brusi Ruart

Trabajo presentado para la superación de los 15 créditos del Módulo Trabajo
Fin de Máster del Máster Oficial en Calidad de Alimentos de Origen Animal

Trabajo dirigido por:

Dra. Ana Cristina Barroeta Lajusticia y Dra. Lorena Castillejos Velázquez

Facultat de Veterinària – Departament de Ciència Animal i dels Aliments

Barcelona, septiembre 2023

Declaración de autoría

Pau Brusi Ruart, como estudiante del Máster Oficial en Calidad de Alimentos de Origen Animal y como autor de este Trabajo de Fin de Máster,

DECLARO QUE,

El trabajo que presento para su exposición y defensa es original y no he utilizado fuentes de información sin mencionar de forma clara y estricta en su origen, tanto en el cuerpo del texto como en la bibliografía. También declaro haber preservado la confidencialidad de los datos suministrados por el grupo bonÀrea. Asimismo, soy plenamente consciente de que el hecho de no respetar estos términos es objeto de sanciones universitarias y/o de otro orden.

Ana Cristina Barroeta Lajusticia y Lorena Castillejos Velázquez, del Servei de Nutrició i Benestar Animal (SNIBA), del Departament de Ciència Animal i dels Aliments de la Universitat Autònoma de Barcelona,

INFORMAN,

Que el trabajo de investigación titulado: *“Evaluación de la calidad del huevo y el rendimiento productivo de gallinas ponedoras alimentadas con diferentes formas de presentación del pienso: harina y migaja”* ha sido realizado bajo nuestra dirección por Pau Brusi Ruart, dentro del módulo “Trabajo Fin de Máster” del Máster Oficial de Calidad de Alimentos de Origen Animal de la Universitat Autònoma de Barcelona.

Y para que conste donde proceda, firmo el presente en Bellaterra (Cerdanyola del Vallès), en julio de 2023.

Agradecimientos

Quiero agradecer por encima de todo a mis dos directoras del TFM, la Lorena Castillejos y la Ana Cristina Barroeta, por guiarme y estar conmigo desde el inicio del trabajo en octubre hasta finalizarlo en verano. Pienso que ha sido como hacer un puzle desde de cero, donde el principio parece muy difícil, pero a medida que vas poniendo piezas ves como poco a poco se va clarificando. Un placer haber podido compartir prácticas, correos y reuniones con ellas. Por otra parte, también me gustaría agradecer enormemente a Marçal Verdú y el grupo bonÀrea por facilitarme todos los datos que he necesitado. Han estado muy amables conmigo y siempre que he tenido dudas o les he requerido más información me han ayudado. Tampoco me quiero olvidar de Jihed, Marc y Kelly que me acompañaron a la granja experimental durante el mes de enero. Muchas gracias.

Finalmente, agradecer a mi familia y amigos cercanos que son los que también han visto de primera mano la evolución con mi TFM y han estado a mi lado cuando me salían las cosas, pero sobre todo cuando me ha sido más complicado. A todos ellos, gracias!

ÍNDICE

1. Abstract / Resumen.....	1
2. Introducción	3
3. Objetivos	11
4. Material y métodos	12
4.1 Animales, dietas y diseño experimental.....	12
4.2 Análisis de laboratorio	16
4.3 Estudio productivo.....	16
4.4 Calidad del huevo	17
4.5 Análisis estadístico	18
5. Resultados	19
5.1 Tamaño de partícula.....	19
5.2 Rendimiento productivo.....	20
5.2.1 Primera fase	20
5.2.2 Segunda fase	21
5.3 Calidad del huevo	22
5.3.1 Primera fase	22
5.3.2 Segunda fase	23
6. Discusión.....	25
6.1 Rendimiento productivo.....	25
6.2 Calidad del huevo	27
7. Conclusiones	31
8. Bibliografía	32

1. ABSTRACT / RESUMEN

Feed presentation is one of the most important factors that determine feed utilization by laying hens. The objective of this study is to compare a mash diet with a crumbled diet on laying performance and egg quality. In this context, 720 Lohmann Brown Classic hens were housed in an environmentally controlled barn and randomly allocated in 24 cages of 30 birds each and assigned to one of the 2 dietary treatments (12 replicates/treatment). The laying hens were fed a standard diet based on wheat and corn with two feed presentation forms: mash and crumble. Productive performances were recorded weekly from 23 to 85 weeks of age. For egg quality measurement, two evaluations at 35 and 82 weeks of age were done to determine shell thickness, shell strength, Haugh Units and yolk colour. Compared to mash diet, from 23 to 46 weeks of age, crumbled diet decreased feed consumption ($P < 0.01$), improved feed conversion ratio (FCR, $P < 0.05$) and reduced shell thickness ($P < 0.05$), DSM yolk colour ($P < 0.05$) and yolk Hunter values a, b ($P < 0.001$). From 74 to 85 weeks of age, crumbled diet also improved FCR ($P < 0.05$), increased egg production ($P < 0.05$), but reduced egg weight ($P < 0.001$), and increased Haugh Unit values ($P < 0.01$) and yolk Hunter values a, b ($P < 0.05$). According to the results, offering crumbled diet in contrast to mash, improved feed efficiency with less feed consumption. Moreover, at the end of the laying period, crumbled diet also improved egg production, Haugh Units and intensified yolk pigmentation.

La presentación del alimento es un factor clave que determina la utilización del alimento por parte de las gallinas ponedoras. El objetivo de este estudio es comparar una dieta en forma de harina con una dieta en forma de migaja y evaluar sus efectos sobre el rendimiento productivo y la calidad del huevo. Con este objetivo, se utilizaron 720 gallinas Lohmann Brown Classic en una nave con control ambiental, y se distribuyeron aleatoriamente en 24 jaulas, a razón de 30 aves por jaula, que se asignaron a uno de los 2 tratamientos experimentales (12 réplicas/tratamiento). Las gallinas ponedoras fueron alimentadas con una dieta estándar a base de trigo y maíz con dos formas de presentación del alimento: harina y migaja. Los rendimientos productivos se registraron semanalmente desde las 23 hasta las 85 semanas de edad. Para la calidad del huevo, se realizaron dos muestreos y evaluaciones a las 35 y 82 semanas de edad para determinar el grosor y la dureza de la cáscara, las Unidades Haugh y el color de la yema. De la semana 23 a las 46 semanas de edad, el pienso en migaja disminuyó el consumo de alimento ($P < 0,01$), mejorando el índice de conversión alimenticia (IC, $P < 0,05$), sin embargo, a nivel de calidad de huevo redujo el grosor de la cáscara ($P < 0,05$), el color de la yema DSM ($P < 0,05$) y los valores de yema a, b de Hunter ($P < 0,001$), en comparación con la dieta en forma de harina. De las 74 a las 85 semanas de edad, la dieta en migaja también mejoró el IC ($P < 0,05$) y aumentó la producción de huevo ($P < 0,05$), no obstante, redujo el peso del huevo ($P < 0,001$), aunque a nivel de calidad de huevo aumentaron las Unidades Haugh ($P < 0,01$) y los valores del color de yema a, b de Hunter ($P < 0,05$), en comparación con la dieta en forma de harina. Según los resultados observados en este estudio, ofrecer pienso en forma de migaja mejora la eficiencia alimenticia reduciendo el consumo de alimento. Además, al final del período de puesta, la dieta en migaja también mejora la producción de huevos, las Unidades Haugh e intensifica la pigmentación de la yema.

2. INTRODUCCIÓN

La avicultura es una de las industrias agropecuarias más importantes a nivel mundial, con un papel fundamental en la producción de alimentos y en la economía global. El objetivo principal de este sector es satisfacer la creciente demanda de alimentos de origen avícola, en particular de huevos, de manera eficiente, innovadora y sostenible, tanto a través de una perspectiva económica como medioambiental. Desde el punto de vista económico, se busca aumentar la competitividad en un mercado muy globalizado y en cambio constante. De hecho, la demanda de huevos ha experimentado, en los últimos años, un crecimiento significativo a causa del aumento de la población mundial y los cambios en los hábitos de consumo. Por lo que se refiere a la óptica medioambiental, el huevo es uno de los alimentos que genera menor huella ambiental, pero aun así se trabaja constantemente para garantizar su sostenibilidad. Para lograrlo, se están buscando soluciones que minimicen la huella ecológica, reduciendo los residuos en base a buscarles nuevos destinos, así como disminuyendo la utilización de recursos naturales, como la energía, el agua o el alimento suministrado. Todo ello pasa por la continua mejora genética, la nutrición de precisión, unas mejores instalaciones y manejo en las granjas, y la adecuada gestión y revalorización de los residuos (Ruiz, 2010).

Una de las claves primordiales para aumentar el rendimiento en la avicultura es mediante la optimización e incremento de la eficiencia alimentaria. La eficiencia alimentaria se refiere a la cantidad de alimento necesario para producir una unidad de producto (como un huevo), y su mejora se traduce en una reducción de los costes de producción y un aumento de la rentabilidad. Concretamente, la alimentación de las gallinas (junto con la edad, la genética, las condiciones ambientales o el estado sanitario) es uno de los factores con mayor trascendencia, y que afecta tanto a la calidad como a la producción de huevos y, en consecuencia, al éxito económico de una granja o empresa. Las gallinas necesitan una dieta equilibrada y rica en nutrientes (proteínas, vitaminas, minerales, entre otros) para garantizar una buena salud y desarrollar un buen rendimiento, produciendo huevos de alta calidad y en cantidad suficiente. No obstante, los costes de producción referidos a la alimentación animal son volátiles y, desde hace un tiempo, diversas situaciones han provocado incrementos importantes de estos costes. La guerra de Ucrania ha dado lugar a la escasez de cereal y otras materias primas utilizadas para la elaboración y fabricación de piensos. A esta situación, se añaden la subida de precios a causa de la inflación generalizada, las incidencias de patologías aviares o la grave sequía en España. De hecho, a día de hoy, la alimentación de las aves representa más o menos el 70% de los costes de la producción y, de forma específica, los precios de los piensos para gallinas

ponedoras son, en el año 2023, un 35% más elevados que la media de los últimos 5 años (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2023).

Una de las estrategias más estudiadas para mejorar la eficiencia alimentaria (y por lo tanto disminuir costes y residuos ambientales) es el tamaño de partícula del pienso. En efecto, las aves, de forma general, no distinguen bien los alimentos por el olor o el sabor, ya que tienen un número reducido de papilas gustativas (Lindenmaier y Kare, 1959). Sin embargo, debido a que poseen un conjunto de receptores táctiles (mecanorreceptores) ubicados en el pico, seleccionan el alimento, fundamentalmente, en base a la textura y al tamaño de partícula (Ziolkowski et al., 2022). El tamaño de las partículas del pienso es un punto clave a considerar en la alimentación de las gallinas, ya que puede afectar el modo en que consumen y digieren los nutrientes, así como a su salud intestinal y a su producción (Herrera et al., 2018b). Por todo ello, existe un gran interés por parte de nutricionistas, productores y miembros de la industria del huevo en investigar cuál es el pienso con el tamaño de partícula ideal para las gallinas y que les permita una mejor producción (Guzmán et al., 2015).

A continuación, se van a describir las características y ventajas de los piensos en harina o migaja para gallinas ponedoras utilizados en este estudio, así como los resultados recogidos en la bibliografía.

Las formas de presentación del alimento más frecuentes en las gallinas de producción de huevo comercial son la harina y la migaja. Entre los cereales más utilizados en las dietas para aves se encuentra el maíz (*Zea mays*) y el trigo (*Triticum*) y, en menor medida, la cebada (*Hordeum vulgare*) (Safaa et al., 2009). La harina es una forma de presentación del pienso completo que se muele (generalmente, con molino de rodillo) y se mezcla para que los ingredientes no se puedan separar fácilmente (Amerah et al., 2007). La producción del pienso en migaja es más compleja, ya que es necesario llevar a cabo un conjunto de procesos que permiten aglomerar las partículas. En primer lugar, al igual que con la harina, se hace una primera molienda (generalmente, con molino de martillo). Una vez molido, se realiza un proceso llamado granulado (*pelleting*, en inglés). Este procedimiento consiste en aglomerar, mediante acción mecánica (combinado con humedad, presión y temperatura) con el objetivo de formar estructuras largas denominadas gránulos (en inglés, *pellets*) (Massuquetto et al., 2020). Finalmente, se dejan enfriar los gránulos durante un tiempo y, cuando ya se puedan procesar, se efectúa el último proceso, que consiste en romper el gránulo para formar la migaja, que corresponde a un gránulo partido (Ege et al., 2019).

Con respecto al tipo de molienda, seguidamente se explica en qué consisten los molinos de rodillos y martillos, y se citan algunas de las características diferenciales entre los dos molinos, ambos muy usados para la molturación de los piensos. Los molinos de rodillos son de rodillos cilíndricos, normalmente en pares, para romper el grano en partículas pequeñas. La materia prima pasa a través de una serie de 2-6 pares de rodillos, los cuales tienen una superficie ondulada y giran a alta velocidad y en la dirección opuesta para crear fuerza. Estos molinos permiten obtener un tamaño de partícula medio o grande, la energía consumida es baja, la pérdida de calor es insignificante, tiene una capacidad alta, la producción de polvo y ruido es bajo y, sin embargo, los costos iniciales son mayores. En contraposición a esto, los molinos de martillos están formados por conjuntos rotantes de martillos, que se aprovechan de la fuerza del impacto para romper el grano. Los martillos van girando a alta velocidad y fragmentan la materia prima hasta que pueda acceder a través de la malla circundante. Estos molinos permiten hacer un tamaño de partícula pequeño o grande, la energía consumida es muy alta, hay una pérdida de calor considerable, la producción de polvo y ruido es alto, aunque tienen una alta capacidad, y los costos iniciales son menores (Owens y Heimann, 1994; El Sitio Avícola, 2016).

Es conocido que las gallinas rechazan las partículas muy pequeñas, conocidas como finos. Según la casa de genética ISA Brown (2009), la mayoría de los estudios indican que, cuando tienen la posibilidad de escoger, las gallinas muestran una clara preferencia por las partículas más grandes. Además, se ha visto que, con la edad, el tamaño óptimo de las partículas del alimento aumenta, coincidiendo con el desarrollo del pico y la cavidad bucal, la molleja y el tracto digestivo. Por todo lo anterior, las líneas de investigación actuales van encaminadas a producir piensos con un tamaño de partícula grueso y muy uniforme. De este modo, a primera vista, habría que esperar unos mejores resultados del pienso en migaja frente a la harina, en la calidad del huevo y el rendimiento productivo. Sin embargo, existen ventajas e inconvenientes en cada tipo de presentación del pienso.

En la siguiente tabla (tabla 1), se resumen y comparan algunas de las características principales de estas dos formas de presentación (harina vs migaja).

Tabla 1. Características distintivas del pienso en harina y migaja y el efecto que producen.

Característica	Harina	Migaja
Aceptación del alimento	↓	↑
Consumo de nutrientes equilibrado	↓	↑
Desarrollo de la molleja	↓	↑
Tiempo de tránsito intestinal	↓	↑
Superficie de actuación de enzimas	↑	↓
Absorción de nutrientes	↑	↓
Segregación de ingredientes	↑	↓
Procesado	↓	↑
Coste	↓	↑

A continuación, se comentarán las características mencionadas en la tabla anterior.

En relación con la aceptación del alimento, se ha visto que el pienso en migaja tiende a ser muy aceptado por las gallinas, debido a una mayor afinidad con los receptores táctiles del pico. Las gallinas prefieren tamaños de partícula un poco más gruesos que los finos (Herrera et al., 2018a), que habitualmente son rechazados. Además, el pienso obtenido goza de mayor textura y palatabilidad. Sin embargo, en el caso del pienso en harina, el rechazo de partículas finas puede dar lugar a un desequilibrio en el consumo y pérdida de ingesta de microingredientes (vitaminas y minerales, aminoácidos...). Con respecto a la fisiología de las gallinas, se observa que la migaja permite que haya una buena funcionalidad de los órganos digestivos. Eso implica un mejor desarrollo de la molleja (especialización del estómago) y aumento del pH de la digesta de la molleja. En adición, habrá un mayor tiempo de retención en el tracto gastrointestinal y, por lo tanto, una actuación más prolongada de las enzimas gastrointestinales (Valencia et al., 2012). Por el contrario, en el caso de la harina, cuando el tamaño de partícula es demasiado pequeño, tiene menor tiempo de tránsito por el tracto gastrointestinal y disminuye el tiempo de actuación de las enzimas. A pesar de esto, también hay que tener en cuenta que, en la migaja, hay menor superficie de actuación para las enzimas. Esto se debe a que el pienso en migaja está compuesto por partículas más grandes y menos fragmentadas en comparación con el pienso en harina. Esta circunstancia hace que haya una reducción de la absorción de nutrientes en las vellosidades intestinales. En el pienso en harina, en cambio, hay mayor superficie para la actuación enzimática y, como resultado, se facilita la absorción de nutrientes en el intestino. En cuanto a la segregación de ingredientes, se ha visto que en el caso de la migaja hay una reducción importante de la separación de los componentes, debido sobre todo al proceso de granulación previo a romper el gránulo para formar la migaja, que ayuda a aglomerar

estructuras (Massuquetto et al., 2020). Como resultado, se encuentra que en la migaja hay una mayor homogeneidad de partículas. Por el contrario, en la harina solo se realiza una molienda y la segregación de ingredientes es mayor, lo que podría provocar desajustes nutricionales en las gallinas. Aun así, se está trabajando constantemente con los piensos en harina para progresar en este aspecto. Acerca del procesado, es decir, la metodología para obtener el pienso final listo para alimentar las gallinas, en la harina es menor y en cambio en la migaja el proceso es más complejo. De hecho, en el caso de la migaja, la granulación (que puede tener ventajas como la aglomeración de partículas, disminución de la alimentación selectiva o reducción del desperdicio alimentario) también tiene ciertas desventajas, como la modificación del valor nutricional del pienso por el efecto de la presión y la temperatura (Zheng et al., 2020). En último lugar, pero claramente uno de los aspectos más relevantes, es el coste para producir el pienso en harina o migaja, y ahí claramente tiene un coste de producción más elevado la migaja, principalmente por el precio y mantenimiento de la granuladora. En la harina, como no se realiza un procedimiento térmico, el procesado es más económico. De hecho, según Jahan et al (2006), el coste medio de fabricación de pienso en harina es de 8,71 €/ tonelada; en cambio, la misma cantidad para el pienso en migaja se eleva hasta los 18,45 €/ tonelada. Por lo tanto, por cada tonelada de pienso producido, hay una diferencia de 9,74 € más para fabricar migaja que para producir harina.

A modo de resumen, parece ser que la migaja puede tener una serie de ventajas en comparación con la harina. Sin embargo, como en cualquier otro sector, en la industria de la producción de huevos el retorno de la inversión de cualquier cambio productivo debe ser claro. Siguiendo esta línea argumental, las empresas suelen hacer un balance económico antes de dar con la fórmula que mayor les conviene con los piensos para las aves.

Seguidamente, se muestra una tabla (tabla 2), donde se recogen diferentes estudios indicando el efecto de la presentación del pienso sobre algunos de los parámetros más relevantes de producción y calidad del huevo. A grandes rasgos, se pueden observar resultados contradictorios entre autores, lo que confirma la complejidad del tema de estudio y no permite extraer información concluyente.

Tabla 2. Comparación del efecto de la presentación del pienso sobre el rendimiento productivo y la calidad del huevo en gallinas ponedoras. Se han realizado dos comparaciones: harina vs migaja y harina vs gránulo.

	Rendimiento productivo				Calidad del huevo			
Referencia	Consumo de alimento	Producción de huevos	Peso del huevo	Índice de conversión (IC) ¹	Color de la yema	Unidades Haugh	Grosor de la cáscara	Resistencia de la cáscara
Harina vs Migaja								
Dijkslag et al., 2021	ns ²	ns	ns	↓	-	-	ns	ns
Ege et al., 2019	↓ ³	ns	ns	↓	↑	ns	ns	ns
Guzmán et al., 2015	↓	-	-	↓	-	-	-	-
Koçer et al., 2016	↑	ns	ns	↑	↑	ns	ns	ns
Saldaña et al., 2016	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Wahlström et al., 1999	ns	-	↓	↑	↓	ns	ns	ns
Harina vs Gránulo								
El -Sagheer et al., 2014	↓	↓	↓	↓	ns	↓	↓	-
Frikha et al., 2009	↓	-	-	ns	-	-	-	-
Koçer et al., 2016	↑	ns	ns	↑	↑	ns	ns	ns
Wan et al., 2021	↓	↓	↓	↓	ns	ns	ns	ns
Zheng et al., 2020	↓	ns	ns	ns	↑	ns	ns	ns

¹ Calculado como kilogramo de pienso consumido / kilogramo de huevo producido.

² ns: no significativo.

³ Las flechas van en función del tratamiento en harina. La flecha hacia arriba indica que la harina consigue un efecto superior al de la migaja / gránulo, y la flecha abajo indica lo contrario; que el resultado de la harina es inferior al de la migaja / gránulo.

* Los P-valor se han considerado como significativos cuando $P < 0,05$.

Aunque numerosos trabajos se han enfocado en estudiar la repercusión del tamaño de partícula en las dietas de las gallinas ponedoras, en algunos de ellos, la administración de las dietas en forma de harina o migaja no ha dado lugar a cambios significativos en términos de rendimiento productivo y calidad del huevo (Herrera et al., 2017; Ruhnke et al., 2015). Estos autores indican que los resultados obtenidos no dependieron del tamaño de partícula, sino de otros factores como la composición de los ingredientes y el balance nutricional del pienso, la molturación y el tipo de molino utilizado (de rodillos o martillos), la estirpe o la edad de las gallinas.

En conjunto, esta revisión bibliográfica no aporta información concluyente sobre los efectos del tamaño de las partículas y de la forma de presentación del alimento (harina o migaja) sobre el rendimiento de las gallinas ponedoras, por lo que es necesaria una mayor investigación sobre este tema.

3. OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo experimental es estudiar el efecto de la forma de presentación del pienso de las gallinas ponedoras sobre los rendimientos productivos y la calidad de los huevos.

Para ello, se plantea comparar la alimentación de las gallinas con pienso en harina o migaja, a lo largo de todo el periodo de producción de huevos (desde 23 hasta 85 semanas de vida), evaluando el impacto sobre:

- La producción de huevos (nº y kg), el peso medio del huevo, el consumo de alimento y el índice de conversión por kilogramo y docena de huevos.
- La calidad externa de los huevos, en particular la resistencia a la rotura y el grosor de la cáscara.
- La calidad interna de los huevos, en base a las Unidades Haugh y el color de la yema (abanico DSM y colorímetro).

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1 Animales, dietas y diseño experimental

Los procedimientos descritos en este experimento siguen la Directiva 2010/63/UE relacionados con la protección de los animales utilizados para propósitos científicos (European Parliament and of the Council, 2010), así como la ley 32/2007 para el cuidado de los animales en su explotación, transporte, experimentación y sacrificio (Boletín Oficial del Estado, 2007).

El trabajo experimental se realizó gracias a una colaboración entre la granja experimental de Nial (del grupo bonÀrea de Guissona, Lleida) y el Servicio de Nutrición y Bienestar Animal de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB). La parte de producción se realizó *in situ* en la granja, con datos recogidos semanalmente, y estos fueron compartidos para poder elaborar el estudio. Por otra parte, la calidad del huevo se realizó en los laboratorios de la UAB con los huevos recogidos en la granja experimental Nial.

Se utilizaron un total de 720 gallinas ponedoras Lohmann Brown Classic de 16 semanas de vida, que fueron alojadas en una nave en condiciones ambientales controladas. Los animales fueron criados bajo las condiciones recomendadas por las casas de genética (Lohmann, 2019), con un programa de luz de 16 horas/día, una temperatura media de $18,51 \pm 6,97^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa media del $65,29 \pm 11,21\%$. Durante el transcurso del estudio, el pienso y el agua fueron administrados *ad libitum*.

Las 720 gallinas ponedoras fueron alojadas en baterías de 2 pisos, y se repartieron al azar en 24 lotes (con 30 gallinas / lote), asignadas aleatoriamente a uno de los dos tratamientos experimentales (12 réplicas / tratamiento). Hay que mencionar que cada lote o unidad experimental estaba compuesta por 2 jaulas (cada jaula tenía un espacio de 141 x 79 x 62 cm), de modo que los animales pudieran tener espacio suficiente para desarrollar sus funciones vitales correctamente. El programa de alimentación se planificó en dos fases: fase 1 de 23 a 46 semanas de vida (del 10 de diciembre de 2021 al 20 de mayo de 2022), y fase 2 de 74 a 85 semanas de vida (del 2 de diciembre de 2022 al 17 de febrero de 2023). Todas las dietas se formularon para cubrir con los requerimientos nutricionales para gallinas ponedoras recomendado por FEDNA (2018). Durante todo el periodo experimental, de las 23 a las 85 semanas de vida, se administraron 2 dietas experimentales (tanto para la fase 1 como para la fase 2) con la misma formulación, pero diferente forma de presentación: harina o migaja, cuya composición y valor nutricional aparecen en las tablas 3 y 4, respectivamente.

Tabla 3. Composición en ingredientes, energía y nutrientes de las dietas experimentales de la fase 1 (23 a 46 semanas de vida).

	Harina	Migaja
Ingredientes (%)		
Maíz rodillos	37,74	
Trigo rodillos	19,99	
Maíz martillos		37,73
Trigo martillos		20,00
Soja 47 %	21,06	21,06
Girasol 28-30 %	6,60	6,60
Carbonato de calcio	4,40	8,70
Carbonato de calcio grosero	4,30	
Aceite de soja + lecitina	3,96	3,97
Fosfato dicálcico	0,70	0,70
Sal	0,32	0,32
Núcleo ¹	0,30	0,30
Metionina S	0,17	0,17
Secuestrante de micotoxinas	0,15	0,15
Acidificante	0,10	0,10
Sulfato de lisina 80%	0,07	0,07
Bicarbonato de sodio	0,06	0,06
Ácidos orgánicos	0,05	0,05
Pigmentante rojo 10%	0,01	0,01
L-valina	0,01	0,01
Energía		
EMA (kcal / kg) ^{2,3}	2779,23	2779,05
Nutrientes (%)		
Humedad*	12,08	10,10
Grasa bruta*	5,45	5,47
Ácido linoleico (C18:2) ³	2,53	2,53
Proteína bruta*	15,26	16,22
Lys	0,84	0,84
Met	0,44	0,44
Met + Cys	0,73	0,73
Thr	0,62	0,62
Fibra bruta*	3,81	4,15
Almidón*	41,45	41,11
Cenizas*	11,63	12,09
Calcio*	3,76	3,59
Fósforo*	0,48	0,53
Fósforo digestible ³	-	-
Sodio*	0,15	0,12

¹ Núcleo. Contiene lo siguiente (%): excipiente de cebada, 44,49; excipiente de carbonato de calcio, 10; fitasa, 10; óxido de magnesio (MgO), 8,04; óxido de manganeso (MnO), 5,60; sulfato de hierro (FeSO₄), 5,30; antioxidante, 4,17; óxido de zinc (ZnO), 3,60; sulfato de cobre (CuSO₄), 2,14; feedasa, 1,67; selenio, 1,22; cantaxantina, 0,67; vitamina E, 0,66; vitamina B12, 0,40; vitamina K, 0,35; vitamina A, 0,33; ácido nicotínico (vitamina B3), 0,33; ácido pantoténico (vitamina B5), 0,30; biotina (vitamina B7), 0,24; vitamina B2, 0,17; vitamina B6, 0,10; vitamina

D3; 0,10; vitamina B1, 0,06; ácido fólico (vitamina B9), 0,04; yoduro de potasio (KI), 0,02; selenito de sodio (Na₂SeO₃), 0,01.

² EMA: Energía Metabolizable Aparente.

³ Valores estimados según FEDNA.

* Valores analizados en el laboratorio.

Tabla 4. Composición en ingredientes, energía y nutrientes de las dietas experimentales de la fase 2 (74 a 85 semanas de vida).

	Harina	Migaja
Ingredientes (%)		
Maíz rodillos	36,56	
Trigo rodillos	19,80	
Maíz martillos		36,56
Trigo martillos		19,80
Soja 47 %	17,29	17,29
Girasol 28-30 %	9,90	9,90
Carbonato de calcio	3,34	9,34
Carbonato de calcio grosero	6,00	
Aceite de soja + lecitina	4,41	4,41
Sepiolita	0,99	0,99
Fosfato dicálcico	0,46	0,46
Sal	0,32	0,32
Núcleo ¹	0,30	0,30
Metionina líquida	0,16	0,16
Secuestrante micotoxinas	0,15	0,15
Sulfato de lisina 70%	0,14	0,14
Acidificante	0,10	0,10
Bicarbonato de sodio	0,06	0,06
Treonina sólida	0,01	0,01
Pigmentante rojo 10%	0,01	0,01
L-valina	0,01	0,01
Energía		
EMA (kcal / kg) ^{2, 3}	2734,47	2734,47
Nutrientes (%)		
Humedad*	11,89	10,57
Grasa bruta*	5,69	5,33
Ácido linoleico (C18:2) ³	3,23	3,23
Proteína bruta*	14,41	15,84
Lys	0,80	0,80
Met	0,41	0,41
Met + Cys	0,68	0,68
Thr	0,58	0,58
Fibra bruta*	5,43	4,99
Almidón*	38,98	39,58

Cenizas*	11,07	11,54
Calcio *	3,35	3,53
Fósforo*	0,39	0,45
Fósforo digestible ³	0,32	0,32
Sodio*	0,18	0,18

¹ Núcleo. Contiene lo siguiente (%): excipiente de cebada, 44,49; excipiente de carbonato de calcio, 10; fitasa, 10; óxido de magnesio (MgO), 8,04; óxido de manganeso (MnO), 5,60; sulfato de hierro (FeSO₄), 5,30; antioxidante, 4,17; óxido de zinc (ZnO), 3,60; sulfato de cobre (CuSO₄), 2,14; feedasa, 1,67; selenio, 1,22; cantaxantina, 0,67; vitamina E, 0,66; vitamina B12, 0,40; vitamina K, 0,35; vitamina A, 0,33; ácido nicotínico (vitamina B3), 0,33; ácido pantoténico (vitamina B5), 0,30; biotina (vitamina B7), 0,24; vitamina B2, 0,17; vitamina B6, 0,10; vitamina D3; 0,10; vitamina B1, 0,06; ácido fólico (vitamina B9), 0,04; yoduro de potasio (KI), 0,02; selenito de sodio (Na₂SeO₃), 0,01.

² EMA: Energía Metabolizable Aparente.

³ Valores estimados según FEDNA.

* Valores analizados en el laboratorio.

Los cereales usados en la fabricación del pienso (básicamente trigo y maíz) sufrieron un proceso de molturación diferente según el tratamiento: molino de rodillos en el caso de la harina, mientras que en el caso de la migaja fue con un molino de martillos.

En referencia a la migaja, la mezcla obtenida tras la molienda se incorporó a un acondicionador de vapor bajo unas condiciones de 80°C y 1,5 kgf/cm² durante 20 a 30 segundos de retención. Este acondicionamiento es un pretratamiento que se realizó antes de descargar la mezcla a la granuladora. Seguidamente, se procedió a la granulación (MÜNCH-Edelstahl GmbH Weststraße 2,640,721-Hilden, Germany), para aglomerar, higienizar y formar los gránulos. Una vez terminado este proceso, se dejó enfriar (en un enfriador vertical) a una temperatura de aproximadamente 22°C (Ege et al., 2019). En último lugar, y cuando los gránulos estuvieron fríos, éstos se sometieron a un proceso de rotura para formar la migaja, es decir, el gránulo partido.

Las diferencias principales entre las dos dietas, por lo tanto, fueron el tipo de molido (rodillo o martillo) y el diámetro del tamaño de partícula que, de forma general, fue un poco más pequeño en el caso del tratamiento con harina y en cambio en la migaja fue más grueso.

Para medir el tamaño de las partículas de los piensos en harina y migaja de ambas fases, se utilizó una tamizadora (AS 400 Control, Retsch Model, Stuttgart, Germany). La tamizadora estaba formada por 5 tamices para los diferentes tamaños de partícula (>3mm, 2-3 mm, 1-2 mm, 0,5-1mm y <0,5mm). Se puso el pienso encima del primer tamiz (>3mm) de la tamizadora, que fue accionada durante 5 minutos a una amplitud de vibración de 1,9 (condiciones

establecidas por bonÀrea). De este modo, se determinó para cada lote y tratamiento (harina o migaja), el % de partículas de cada gradiente de tamaño.

En la tabla 5 de resultados se presenta el % de partículas para cada rango de tamaño para los piensos de las dos fases y según el tratamiento (harina o migaja).

4.2 Análisis de laboratorio

La composición de ingredientes y nutrientes y el análisis químico de las dietas que aparecen en las tablas 3 y 4 han sido obtenidas después de un análisis de laboratorio que se describe a continuación. Muestras representativas de piensos fueron molidos usando un molino de laboratorio equipado con una criba de 1mm (Retsch Model Z-I, Stuttgart, Germany). La determinación analítica de las dietas experimentales fue realizada como mínimo por duplicado acorde al método AOAC International (2005), donde se obtuvo la humedad por secado al horno, el total de cenizas en un horno de mufla y el nitrógeno usando un analizador elemental Leco (Modelo FP-528, Leco Corp., St. Joseph, MI). El extracto etéreo (grasa cruda) fue determinado mediante un análisis Soxhlet (después de hidrólisis ácida de 3 N HCl), y la fibra cruda a través de una extracción secuencial con un tratamiento ácido-alcalino (Real Decreto 2257/1994). La energía fue analizada mediante una bomba calorimétrica adiabática (modelo 1356, Parr Instrument Company, Moline, IL, USA), con ácido benzoico como calibración estándar. El contenido de ácido linoleico de las dietas fue medido gracias a una cromatografía gas-líquido según Grobas et al. (1999), y el contenido aminoacídico con una cromatografía de intercambio iónico (Hewlett-Packard 1100, Waldbronn, Germany), después de una hidrólisis ácida (de Coca-Sinova et al., 2008).

4.3 Estudio productivo

El estudio productivo se analizó en dos fases diferentes. El primer periodo de tiempo se corresponde a la fase 1 (de la semana 23 a la 46 de vida), y el segundo periodo a la fase 2 (de la semana 74 a la 85 de vida).

La recogida de datos de la producción de las gallinas fue realizada cada semana por bonÀrea, así que toda la información y datos requeridos han sido transferidos de esta empresa a la UAB para poder realizar esta parte del proyecto.

De forma concreta, se fue anotando, semanalmente y por cada lote, los datos productivos que a continuación se citan: consumo de pienso total, número de huevos totales, peso de los huevos totales, clasificación en % de los huevos (S, M, L, XL), las bajas totales por lote y el número de huevos sucios y/o rotos. Con estos datos se calcularon los siguientes parámetros: la producción de huevos, el consumo de alimento, la masa del huevo, la mortalidad y el índice de conversión (IC) del alimento (FCR en inglés), por kilogramo y por docena de huevos. Este índice valora la ratio entre consumo de alimento de las gallinas por unidad de masa de huevos (kilogramo o docena). Valores de IC bajos indican que el alimento es más eficientemente convertido en producción de huevos por parte de las gallinas, mientras que valores altos señalan una baja eficiencia alimenticia (Herrera et al., 2018a).

4.4 Calidad del huevo

Se realizó la calidad del huevo en dos períodos distintos de tiempo: uno correspondiente a la fase 1 (semana 35 de vida, el día 4 de marzo de 2022) y el segundo en la fase 2 (semana 82 de vida, el 27 de enero de 2023). En los dos estudios, se utilizó el mismo procedimiento.

Se seleccionaron al azar 14 huevos frescos de la talla L de cada lote. Una vez en el laboratorio, unas 24 horas después de haber recogido los huevos en la granja, se examinaron los parámetros más relevantes de la calidad del huevo. Con 6 huevos frescos se determinó la resistencia, y con los 8 restantes se analizaron los siguientes parámetros: el peso del huevo, la altura de la albúmina, las Unidades Haugh, el grosor de la cáscara, el color de la yema, la resistencia del huevo y los defectos encontrados en éste, tanto de manera externa como internamente.

En relación con las Unidades Haugh (UH), se usó un equipo multitester (QCMSsystem, Technical Services and Supplies, Dunnington, York, UK), tal y como indica Pérez-Bonilla et al., (2012). Las UH permiten correlacionar la altura del albumen denso con el peso del huevo entero. Se recogieron dos medidas de la clara justo en el momento de abrir el huevo (evitando medir donde había chalazas o burbujas de aire), pues la clara se fluidifica con el paso del tiempo y va decreciendo. La fórmula es la que se presenta a continuación (Eisen et al., 1962):

$$UH = 100 * \log (H - 1,7w^{0,37} + 7,57)$$

H: altura de la clara densa en milímetros.

W: peso del huevo en gramos.

Para el color de la yema del huevo se aplicaron dos métodos, el abanico colorimétrico DSM y el colorímetro HunterLab. Con respecto al primero, se basa, como el nombre dice, en un abanico de color. Tiene una escala de valores, concretamente 16, siendo 1 un color de yema amarillo-pálido y 16 un color naranja intenso (Vuilleumier, 1969). En referencia al segundo método, la máquina HunterLab (MiniScan EZ 4500, Virginia, USA) da tres valores (valores CIELAB): L^* , a^* , b^* . La “ L^* ” indica el grado de brillo/luminosidad (va de 0 a 100, 0 sería negro, mientras que 100 corresponde al blanco), la “ a^* ” significa color rojo o verde (valores negativos indican verde mientras que valores positivos denotan el color rojo) y la “ b^* ” se relaciona con color amarillo o azul (cifras negativas se corresponden con el azul y valores positivos con el amarillo).

Acerca del grosor de la cáscara, se hicieron dos medidas con un micrómetro digital (model IT-014UT, Mitotuyo, Kawasaki, Japan). Justo después de retirar las membranas testáceas, se hizo la evaluación en la cáscara, específicamente en la zona ecuatorial del huevo. En relación con la resistencia o dureza (medido en kgf, kilogramo-fuerza), se utilizó una máquina que hacía presión sobre el polo del huevo (Press meter, egg Force Reader, SANVO Technology A/S, Odense, Denmark), según indica Safaa et al., 2008. Este procedimiento recae en que, en principio, aquellos huevos con más grosor de cáscara y en mejor estado ofrecerán más resistencia a la rotura y, por lo tanto, se observarán valores de dureza superiores a los huevos con un espesor menor.

4.5 Análisis estadístico

Previamente al estudio estadístico, se comprobó que todos los datos (tanto productivos como de calidad de huevo) introducidos en el Excel fueran correctos y lógicos para hacer la estadística posterior con garantías. Una vez hecho este trabajo preliminar de revisión y limpieza de los datos, se llevó a cabo el estudio estadístico de los datos. Se realizaron ANOVA's (Analysis of Variance) con el programa R Commander (Fox y Bouchet-Valat, 2022) por cada variable según el tratamiento (migaja o harina). Las diferencias entre los promedios de los dos tratamientos fueron consideradas como significativas cuando el P-valor $< 0,05$.

5. RESULTADOS

Seguidamente se muestran los resultados obtenidos de los diferentes análisis realizados: el tamaño de partícula de los dos tratamientos (harina y migaja) y las variables de rendimiento productivo y parámetros de calidad del huevo estudiados para las dos fases según el tratamiento.

5.1 Tamaño de partícula

En este apartado, se ha realizado la distribución del tamaño de partícula de la primera y la segunda fase (tabla 5, primera fase de las 23 a 46 semanas de vida y segunda fase de las 74 a las 85 semanas de vida). Las diferencias principales entre las dos dietas fueron el tipo de molino utilizado y el diámetro del tamaño de partícula encontrado en cada tratamiento.

Tabla 5. Distribución del tamaño de partícula en las dos fases según el tratamiento. Valorado en porcentaje.

Período	Tamaño de partícula	Harina (%)	Migaja (%)
23 a 46 semanas de vida	<0,5 mm	10,78 ± 2,54	9,83 ± 1,35
	0,5-1 mm	18,75 ± 4,84	16,02 ± 5,02
	1-2 mm	20,76 ± 1,56	37,18 ± 10,46
	2-3 mm	32,32 ± 3,58	31,66 ± 10,84
	>3mm	17,40 ± 5,15	5,31 ± 5,58
74 a 85 semanas de vida	<0,5 mm	11,88 ± 1,96	8,38 ± 2,42
	0,5-1 mm	16,62 ± 2,22	10,79 ± 2,93
	1-2 mm	26,64 ± 0,95	29,96 ± 3,05
	2-3 mm	36,96 ± 2,97	38,89 ± 4,82
	>3mm	7,89 ± 1,44	11,98 ± 2,64

Valorando la granulometría (tabla 5), a modo descriptivo, se pueden comentar diferentes aspectos que aparecen en la tabla. Empezando por la primera fase, se puede ver que hay un mayor porcentaje de partículas de tamaños pequeños (<0,5 mm, 0,5-1mm), en el tratamiento de harina (H) en comparación con el de migaja (M) (<0,5mm: H: 10,78% y M: 9,83%; 0,5-1mm: H: 18,75% y M: 16,02%). A medida que el tamaño de partícula es más grande, se observa que, en excepción del tamaño de 2-3mm, donde casi hay el mismo porcentaje para los dos tratamientos, hay un porcentaje más alto de partículas de migaja que de harina (1-2mm: H: 20,76% y M: 37,18%; 2-3mm: H: 32,32% y M: 31,66%). No obstante, para el tamaño de

>3mm, se ha visto que el porcentaje de partículas de harina vuelve a ser superior al de migaja (H: 17,40% y M: 5,31%).

Si se analiza la segunda fase, se sigue una tendencia más clara y reconocible que la primera fase. Para los tamaños de partícula pequeños, se detecta un mayor porcentaje de partículas pequeñas para la harina (<0,5 mm: H: 11,88% y M: 8,38%; 0,5-1mm: H: 16,62% y M: 10,79%). Sin embargo, a medida que el tamaño de partícula aumenta, el porcentaje de partículas es mayor para el tratamiento en migaja (1-2mm: H: 26,64% y M: 29,96%; 2-3mm: H: 36,96% y M: 38,89%; >3mm: H: 7,89% y M: 11,98%).

5.2 Rendimiento productivo

A continuación, se muestran los resultados de las variables más relevantes para el rendimiento productivo de las gallinas según el tratamiento administrado y la fase experimental (tablas 6, 7).

5.2.1 Primera fase

Tabla 6. Efecto de la forma de presentación del pienso (harina vs migaja) sobre los parámetros productivos de 23 a 46 semanas de vida.

Ítems de producción	Forma de presentación del pienso		RSE ¹	P-valor ²
	Harina	Migaja		
Producción de huevos (%) ³	94,71	95,05	6,20	0,51
Consumo de alimento (g/a/d) ⁴	124,26	121,07	13,22	0,004
Peso huevo (g)	63,39	62,92	3,57	0,11
Masa del huevo (g/d) ⁵	59,70	59,52	6,38	0,74
IC (kg/kg) ⁶	2,08	2,04	0,26	0,03
IC (kg/docena) ⁶	1,58	1,53	0,17	0,001
Mortalidad (%)	2,22	2,22	0,16	0,99

¹ RSE (Residual Standard Error), término estadístico que valora y describe la diferencia en las desviaciones estándar de los valores observados frente a los valores pronosticados.

² P-valor (probabilidad), se ha considerado una diferencia significativa para una variable en concreto cuando $P < 0,05$.

³ Porcentaje de puesta, número de huevos / 100 gallinas.

⁴ Consumo medio diario por gallina.

⁵ Masa de huevo producida, indicada en gramos diarios por gallina.

⁶ Índice de conversión del alimento: kg de pienso/kg huevo producido; kg de pienso/docena de huevos producido.

A continuación, se van a exponer los resultados productivos obtenidos durante la primera fase (tabla 6). Se han observado diferencias estadísticamente significativas entre los dos tratamientos aplicados, en tres de las variables estudiadas ($P < 0,05$). Para la variable consumo de alimento, se ha visto que el tratamiento con harina obtiene unos valores de consumo superiores a los obtenidos mediante el pienso en formato migaja (H: 124,26 vs M: 121,07; $P < 0,01$). En relación con el índice de conversión, se puede observar que, tanto si se calcula por kilogramo como por docena de huevos, en el tratamiento con migaja se obtienen unos valores inferiores con respecto a la harina (IC por kg de huevo: H: 2,08 vs M: 2,04; $P < 0,05$; IC por docena de huevos: H: 1,58 vs M: 1,53; $P < 0,01$). No obstante, para los otros parámetros (producción de huevos, peso del huevo, masa del huevo y mortalidad), no se han podido detectar diferencias significativas en función de la forma de presentación del pienso ($P > 0,05$).

5.2.2 Segunda fase

Tabla 7. Efecto de la forma de presentación del pienso (harina vs migaja) sobre los parámetros productivos de 74 a 85 semanas de vida.

Ítems de producción	Forma de presentación del pienso		RSE ¹	P-valor ²
	Harina	Migaja		
Producción de huevos (%) ³	77,96	79,86	7,75	0,038
Consumo de alimento (g/a/d) ⁴	132,62	129,70	12,74	0,052
Peso huevo (g)	68,19	67,46	1,44	<0,001
Masa del huevo (g/d) ⁵	49,71	49,04	7,90	0,47
IC (kg/kg) ⁶	2,54	2,42	0,39	0,013
IC (kg/docena) ⁶	2,07	1,96	0,32	0,003
Mortalidad (%)	3,47	3,33	0,36	0,62

¹ RSE (Residual Standard Error), término estadístico que valora y describe la diferencia en las desviaciones estándar de los valores observados frente a los valores pronosticados.

² P-valor (probabilidad), se ha considerado una diferencia significativa para una variable en concreto cuando $P < 0,05$.

³ Porcentaje de puesta, número de huevos / 100 gallinas.

⁴ Consumo medio diario por gallina.

⁵ Masa de huevo producida, indicada en gramos diarios por gallina.

⁶ Índice de conversión del alimento: kg de pienso/kg huevo producido; kg de pienso/docena de huevos producido.

De acuerdo con los resultados calculados para la segunda fase del rendimiento productivo (tabla 7), se puede observar que existen diferencias significativas en función del tratamiento en

varios de los parámetros contrastados, como en la producción de huevos, el peso del huevo y el índice de conversión de alimento, tanto por kilogramo como por docena de huevos ($P < 0,05$). De forma específica, en la producción de huevos se observa como las gallinas que consumieron el pienso en migaja tuvieron un porcentaje de puesta superior a las gallinas que fueron alimentadas con harina (H: 77,96% vs M: 79,86%; $P < 0,05$). Con la variable peso del huevo, se detecta que, con el pienso en harina, se producen huevos más grandes que con el pienso en migaja (H: 68,19 vs M: 67,46; $P < 0,001$). En relación con el índice de conversión, se puede observar que, al igual que en la primera fase, la administración de migaja dio lugar a mejores índices de conversión, tanto por kilogramo como por docena de huevos (IC por kg de huevo: H: 2,54 vs M: 2,42; $P < 0,05$; IC por docena de huevos: H: 2,07 vs M: 1,96; $P < 0,01$). Por otra parte, en las variables de consumo de alimento, masa del huevo y mortalidad, no se detectaron diferencias significativas en función de la forma de presentación del pienso administrado a las gallinas ($P > 0,05$). Sin embargo, se puede observar una tendencia a un mayor consumo de alimento por parte de las gallinas que se les administró pienso en harina frente al pienso en migaja ($P = 0,052$).

5.3 Calidad del huevo

A continuación, se va a presentar los resultados de las distintas variables analizadas para la calidad del huevo en función del tratamiento aplicado y la fase experimental (tabla 8, 9).

5.3.1 Primera fase

Tabla 8. Efecto de la forma de presentación del pienso (harina vs migaja) sobre la calidad del huevo (semana 35 de vida).

	Forma de presentación del pienso		RSE ¹	P-valor ²
	Harina	Migaja		
Calidad del huevo				
Peso del huevo (g)	65,36	65,17	4,74	0,78
Unidades Haugh	91,38	91,14	5,83	0,77
Grosor cáscara (mm)	0,38	0,36	0,03	0,02
Resistencia cáscara (kgf)	5,27	5,26	0,77	0,93
Color de la yema ³	12,18	11,94	0,54	0,002
Color de la yema ⁴				
L	54,12	54,78	1,06	<0,001

a	27,60	26,55	1,14	<0,001
b	47,75	46,46	2,70	0,001

¹ RSE (Residual Standard Error), término estadístico que valora y describe la diferencia en las desviaciones estándar de los valores observados frente a los valores pronosticados.

² P-valor (probabilidad), se ha considerado una diferencia significativa para una variable en concreto cuando $P < 0,05$.

³ Color de la yema estudiado con el abanico DSM.

⁴ Color de la yema valorado con el colorímetro HunterLab.

En el caso de los resultados para la primera fase de la calidad del huevo (tabla 8), se puede detectar como existen diferencias significativas entre tratamientos en algunos de los parámetros (grosor de la cáscara y el color de la yema, con un $P < 0,05$). Se observó que el grosor de la cáscara en el tratamiento harina fue mayor que en el tratamiento de migaja (H: 0,38mm vs M: 0,36mm; $P < 0,05$). Por lo que se refiere al color de la yema valorado a través del abanico DSM, se observó una puntuación más alta (color más anaranjado) con la harina que con la migaja (H:12,18 vs M:11,94; $P < 0,01$). Cuando el color se determinó con el colorímetro HunterLab, se observó como la luminosidad fue mayor en la migaja que en la harina (H: 54,12 vs M: 54,78; $P < 0,001$), y los valores a, b indicaron que los huevos del tratamiento con harina tenían un color de yema más naranja que los huevos del tratamiento con migaja (a: H: 27,60 vs M: 26,55; b: H: 47,75 vs M: 46,46; $P \leq 0,001$). En las otras variables, como el peso de los huevos muestreados, las Unidades Haugh (UH) y la resistencia de la cáscara ($P > 0,05$), no se observaron diferencias significativas debido a la forma de presentación del pienso en harina o migaja.

5.3.2 Segunda fase

Tabla 9. Efecto de la forma de presentación del pienso (harina vs migaja) sobre la calidad del huevo (semana 82 de vida).

	Forma de presentación del pienso		RSE ¹	P-valor ²
	Harina	Migaja		
Calidad del huevo				
Peso del huevo (g)	67,88	67,43	2,91	0,28
Unidades Haugh	75,85	79,80	9,89	0,006
Grosor cáscara (mm)	0,38	0,37	0,03	0,62
Resistencia cáscara (kgf)	3,87	3,99	0,93	0,48
Color de la yema ³	11,92	11,99	0,52	0,30
Color de la yema ⁴				
L	63,57	62,97	1,66	0,01

a	28,29	29,91	1,63	<0,001
b	52,64	53,38	2,62	0,04

¹ RSE (Residual Standard Error), término estadístico que valora y describe la diferencia en las desviaciones estándar de los valores observados frente a los valores pronosticados.

² P-valor (probabilidad), se ha considerado una diferencia significativa para una variable en concreto cuando $P < 0,05$.

³ Color de la yema estudiado con el abanico DSM

⁴ Color de la yema valorado con el colorímetro HunterLab.

En relación con los resultados de la segunda fase para la calidad del huevo (tabla 9), se pueden detectar diferencias significativas entre los dos tratamientos, básicamente en la variable que mide las Unidades Haugh y el color de la yema valorado con el colorímetro ($P < 0,05$). Específicamente, se observaron valores más elevados de Unidades Haugh en el tratamiento con migaja que en el tratamiento con harina (H: 75,85 vs M: 79,80; $P < 0,01$). En relación con el color de la yema medido con el colorímetro HunterLab, se observó que la luminosidad fue mayor en la harina que en la migaja (H: 63,57 vs M: 62,97; $P < 0,05$), y que los valores a, b del colorímetro fueron más altos en la migaja (a: H: 28,29 vs M: 29,91; $P < 0,001$; b: H: 52,64 vs M: 53,38; $P < 0,05$). Para el resto de parámetros (peso del huevo muestreado, grosor de la cáscara, resistencia de la cáscara y color de la yema evaluado con el abanico DSM), no se encontraron diferencias significativas entre la administración del pienso en harina o migaja ($P > 0,05$).

Adicionalmente, cabe comentar que también se determinó la incidencia de los defectos internos (ejemplo: manchas de sangre) y los defectos externos (ejemplo: heces, malformación de la cáscara) de los huevos a lo largo del estudio. Se ha podido apreciar que hay una mayor incidencia de defectos, tanto en el interior del huevo como en el exterior, en los huevos de la segunda fase en comparación con la primera. Como era de esperar, conforme avanza la edad, las gallinas producen huevos más grandes y son más susceptibles de ser huevos descartados por defectos internos y externos.

6. DISCUSIÓN

La discusión se ha estructurado en dos bloques. En el primero de ellos, se discuten los resultados del rendimiento productivo de las gallinas durante la primera y la segunda fase del estudio. En el segundo, la discusión se ha centrado en la calidad del huevo, también para la primera y la segunda etapa de estudio.

6.1 Rendimiento productivo

A lo largo de todo el estudio productivo, de las 23 a las 85 semanas de vida, se ha observado que la administración de pienso en migaja da lugar a un menor consumo de pienso por parte de las gallinas en comparación con el pienso en forma de harina. Este hecho, juntamente con una masa de huevo producida similar en los dos tratamientos, contribuye a un mejor índice de conversión del alimento, en masa y número de huevos. La forma de presentación del pienso no afectó a la viabilidad de las aves. Además, en la primera fase de 23 a 46 semanas de vida, no se observaron cambios en el porcentaje de producción de huevos ni en el peso de los mismos. Sin embargo, en la fase final de la puesta (74 a 85 semanas de vida), el porcentaje de producción fue mayor en las gallinas que consumieron el pienso en migaja, aunque se redujo el peso del huevo, en comparación a las gallinas que consumieron el pienso en harina.

En la primera evaluación del rendimiento productivo, que tuvo lugar entre la semana 23 y 46 de vida de las gallinas ponedoras, no se observaron diferencias en la producción ni en el peso medio del huevo según las formas de administración del pienso. No obstante, se observó un menor consumo de alimento con el pienso en migaja, lo que da lugar a un menor índice de transformación del alimento.

El consumo de alimento, juntamente con la producción de huevos y el índice de conversión del alimento, son tres de los factores principales que se consideran para evaluar el rendimiento productivo. Sin embargo, estos resultados de consumo no fueron los esperados, ya que se ha demostrado que las gallinas, cuando pueden escoger, prefieren el pienso en forma de migaja que en forma de harina. De hecho, en la mayoría de los estudios consultados (Ege et al., 2019; Wan et al., 2021; Zheng et al., 2020), se observan valores de consumo superiores en la migaja que en la harina, ya que la granulación necesaria para obtener el pienso en forma de migaja permite aglomerar las partículas y mejorar la textura y la palatabilidad del alimento, facilitando

de este modo el consumo de esta forma de presentación del pienso. Svihus y Wetland (2001), en la misma línea, señalan que la migaja permite un vaciamiento gástrico más rápido, lo que conlleva a un mayor consumo alimentario. Sin embargo, algunos estudios como el de Koçer et al. (2016), apoyan los resultados de este estudio, pero no se dan justificaciones sólidas sobre estos resultados, atribuyéndolo a diferencias en la metodología experimental, la composición de ingredientes de la mezcla, el tipo y la calidad del grano y la edad. Esta tendencia fue consistente a lo largo del estudio, observando también en la fase final del estudio productivo (74 a 85 semanas de vida) cifras de consumo alimenticio superiores en las gallinas del tratamiento con harina.

En relación con los índices de conversión alimentario (kg/kg; kg/docena), se ha visto que en todo el periodo productivo los valores de la harina fueron superiores a los de la migaja, por lo que la eficiencia alimentaria fue mejor en el tratamiento con migaja. Este factor, junto con una producción de huevos superior, permite afirmar que en el tratamiento con migaja es necesaria una menor cantidad de alimento para obtener más producción y masa de huevos. Bozkurt et al. (2019) obtuvieron los mismos resultados, un IC mejor con unos valores de consumo más bajos. Este resultado podría explicarse a través de un coeficiente de digestibilidad más elevado del extracto etéreo, junto a un incremento de la actividad de la amilasa y la lipasa en el tracto digestivo (Ege et al., 2019). Todo ello resultaría en un incremento de la utilización de nutrientes y energía de cada unidad de alimento consumido. Como resultado, las gallinas necesitarían menos cantidad de alimento (de migaja en comparación a la harina) para la producción de una determinada cantidad de huevos. Otro detalle a tener en cuenta es la diferencia estadísticamente significativa entre el IC por kilogramo y el IC por docena de huevos, siendo este último mucho más significativo. No se ha encontrado una razón consistente para justificarlo y, de hecho, en los pocos trabajos que se ha analizado IC por docena (a parte del IC por kilogramo), no se han observado resultados significativos (Saldaña et al., 2016; Herrera et al., 2018a).

En el rendimiento productivo de la segunda fase, el IC continuó siendo más favorable en el tratamiento con migaja, y además se observaron diferencias en la producción de huevos y el peso del huevo. En concreto, se observó que la producción de huevos aumentó en las gallinas que consumían el pienso en migaja, sin embargo, se redujo el peso del huevo. Como se ve, el consumo de alimento en forma de migaja tendió a disminuir en esta fase final de producción en comparación con la harina. Además, el porcentaje de puesta fue significativamente superior en el tratamiento migaja, acompañado de una masa de huevo similar para los dos tratamientos (ligeramente superior en la harina, pero no lo suficiente como para cambiar el IC) y un peso

menor del huevo. Como consecuencia de estos resultados, se obtuvo un mejor índice de transformación del pienso consumido para la producción de huevos de las gallinas del tratamiento migaja. Estos resultados concuerdan parcialmente con los de Koçer et al. (2016), donde también observaron un IC más eficiente en la dieta en forma de migaja, debido a que el consumo de pienso se vio reducido significativamente en comparación con la dieta en forma de harina. Sin embargo, las variables de peso de huevo y producción de huevos se mantuvieron muy similares entre los dos tratamientos, sin mostrar diferencias que pudieran afectar a la eficiencia de transformación.

Finalmente, con respecto a la mortalidad, no se ha visto afectada en ningún periodo del estudio productivo debido a la forma de presentación del pienso. Este hecho coincide con los resultados observados en otros estudios (Wan et al., 2021; Wahlström et al., 1999; Hamilton y Proudfoot, 1995).

6.2 Calidad del huevo

En el estudio de la calidad de huevo, se observó como la diferencia de edad de las gallinas entre el primer análisis y el segundo fue un factor importante a tener en cuenta. El grosor de la cáscara fue mayor en los huevos de las gallinas que consumieron pienso en forma de harina: en la semana 35 de forma significativa, y numéricamente en la semana 82 de vida. No obstante, esto no se tradujo en una mayor resistencia a la rotura de la harina en comparación a la migaja. Las Unidades Haugh fueron superiores en el tratamiento migaja únicamente a las 82 semanas de vida. La forma de presentación del pienso también afectó al color de la yema del huevo, detectando un color más intenso en la harina durante la primera fase. En la segunda evaluación, por el contrario, se observó un color más anaranjado de la yema en el tratamiento migaja.

Con respecto a la calidad de la cáscara analizada a las 35 semanas de vida, se evidenció que las gallinas que consumieron harina produjeron huevos con mayor espesor de la cáscara, ya que se lograron unos valores medidos en milímetros superiores a los del pienso en migaja, aunque no se observaron diferencias significativas en la resistencia a la rotura. Normalmente, el promedio del espesor de la cáscara se aproxima a los 0,35mm, aunque puede variar según factores como la edad o el tipo de alimentación de las gallinas. Los huevos con cáscara delgada tienden a ser de peor calidad y con menos integridad que aquellos que tienen la cáscara gruesa y bien formada, y además sufren más problemas por el ingreso más probable de patógenos. La

calidad de la cáscara de huevo está influenciada, entre otros factores, por el tamaño del huevo y el contenido de calcio y fósforo de la alimentación. Mientras que el calcio es un elemento imprescindible para la formación e integridad de la cáscara, se ha descrito que un exceso de fósforo disminuye los procesos de calcificación y formación del huevo, por lo que es importante tener una relación controlada de Ca:P (Ekeocha et al., 2021). Una posible explicación por la cual los huevos del tratamiento con harina tuvieron una cáscara más gruesa que los huevos del tratamiento con migaja, recae precisamente en la forma de presentación del calcio de estas dietas. En la dieta harina, tal y como se puede observar en la composición de las dietas descrita en material y métodos, una parte del carbonato de calcio se aportó en forma grosera. Se ha demostrado que esta incorporación de calcio mejora su absorción ya que se libera más lentamente debido a la retención de parte de este calcio en la molleja. Esta liberación más lenta mejoraría su absorción intestinal y podría ser la responsable del mayor espesor de cáscara observado en los huevos del tratamiento con harina, ya que más calcio sería utilizado para la formación de la cáscara (Safaa et al., 2008).

Sin embargo, a las 82 semanas de vida, no se observan diferencias en el grosor ni en la resistencia a la rotura por la forma de presentación del pienso. La administración de harina con el 50% del calcio en forma grosera no dio lugar a mejoras en el grosor de la cáscara de gallinas en la fase avanzada de producción.

En cuanto a la calidad interna del huevo, la forma de presentación del pienso no modificó las Unidades Haugh a 35 semanas de vida, pero a las 82 semanas de vida, los huevos de las gallinas que consumieron el pienso en migaja obtuvieron mayores valores que se relacionan con un mayor espesor del albumen. Las Unidades Haugh son una de las medidas estándar más aceptadas y con más significación para comprobar la calidad del huevo, y no deja de ser una relación entre la altura del albumen o clara y el peso del huevo. Valores de 50 Unidades Haugh representan una calidad del huevo inaceptable para el consumidor, a partir de 70 ya es aceptable, y valores entre 90 y 100 representan una calidad del huevo excelente. Los resultados obtenidos en el tratamiento migaja indican una mejor calidad interna, así como mayor consistencia de la clara del huevo, lo que se interpreta como mayor frescura. Una posible hipótesis es que, en el caso del tratamiento con harina, se produjera una reducción del consumo de aminoácidos (concretamente de lisina) por parte de las gallinas, lo que podría dar lugar a una reducción en el porcentaje de albumen del huevo (Novak et al., 2004). La lisina desempeña un papel importante en la formación de proteínas, incluidas las proteínas del albumen del huevo. Un mayor contenido de lisina en la alimentación de las gallinas puede promover una

síntesis proteica más eficiente y una mayor calidad de la proteína depositada en la clara. Esto puede resultar en una mayor cohesión y consistencia del albumen, lo que se refleja en un aumento de las Unidades Haugh. Según Zheng et al. (2020), el consumo de alimento es superior en el caso de la ingestión de migaja, ya que es más aceptada por el pico de las gallinas. Como resultado, la ingesta de lisina es mayor con el tratamiento migaja y la proporción de este aminoácido que llega al huevo podría ser superior a los huevos de las gallinas que consumían harina, siendo el metabolismo de las proteínas de las aves muy eficiente. A pesar de esta posible explicación, todavía se requiere de más investigación para comprender el efecto y las causas de la forma de presentación del pienso sobre la calidad de la clara del huevo.

En relación con el color de la yema del huevo, la forma de presentación del pienso tuvo una repercusión manifiesta sobre este parámetro, en el cual se obtuvieron diferencias significativas según el tratamiento, tanto en la semana 35 de vida como en la 82. Su valoración permite determinar la intensidad de pigmentación de la yema del huevo, siendo un color amarillo-pálido una yema de poca intensidad colorimétrica, y naranja un color intenso. Aunque el color de la yema es un factor clave en cualquier encuesta relacionada con la aceptación del huevo (Jacob et al., 2000), las preferencias de los consumidores son altamente subjetivas y varían de forma considerable de un país a otro. Por ello, algunos pigmentos alimentarios son usados para mejorar el color de la yema y así cumplir con las demandas de los consumidores. No obstante, conforme a Roberts (2004), un color más oscuro de la yema es más apetecible y atractivo para los consumidores. Durante la primera fase de producción se detectó que, tanto si se usaba la metodología del abanico DSM como el colorímetro HunterLab (método más objetivo), los huevos de las gallinas alimentadas con pienso en harina tenían un color más intenso (más anaranjado) que los huevos de las gallinas que seguían el tratamiento de pienso en migaja, lo cual concuerda con los resultados obtenidos por otros autores (Ege et al., 2019; Koçer et al., 2016). El color de la yema de los huevos de las gallinas ponedoras está determinado, en gran medida, por las xantofilas, un carotenoide presente en las dietas que consumen, sobre todo a través del maíz y de los pigmentantes añadidos. En las dietas formuladas en este trabajo, la cantidad de pigmento suplementada fue la misma para ambos piensos (harina y migaja), por ello, una posible causa de las diferencias de pigmentación puede deberse al proceso de fabricación del pienso. Siguiendo esta argumentación, los valores más bajos del color de yema con el tratamiento en migaja podrían indicar que la cantidad de xantofila depositada y/o consumida por las gallinas fue menor que la ingerida con el tratamiento en harina. Esto podría tener la explicación en que las altas temperaturas, juntamente con una alta presión durante el

proceso de granulación, habrían podido provocar una destrucción de las xantofilas (Karunajeewa et al., 1984). Como resultado, menor parte de estos carotenoides llegarían al huevo y, por lo tanto, el color de la yema de los huevos con el pienso en migaja serían más claros y menos naranjas que los huevos de las gallinas a las que se les ha administrado el pienso en harina, que no fue expuesto al proceso térmico de granulación.

En contraposición, en la segunda etapa de producción (82 semanas de vida), el color de la yema fue más intenso y naranja en los huevos de las gallinas que comieron migaja con respecto a la harina. Estos resultados coinciden con los de Wahlström (1999), ya que, aunque es conocido que con la granulación y la temperatura necesarios para fabricar la migaja se provoca una oxidación y destrucción de los pigmentos carotenoides como la xantofila y se produce una reducción de su efecto pigmentante, existen varios estudios (Wahlström et al., 1999; Belyavin y Marangos, 1987) que han observado como la digestibilidad de la grasa cruda aumenta en la migaja en comparación a la harina, y este aumento en la digestibilidad daría lugar a un aumento de la absorción de los carotenoides liposolubles. Por ello, las gallinas del tratamiento con migaja habrían aprovechado mejor el pigmentante y por lo tanto podría llegar más cantidad de pigmento hasta la yema del huevo y, en consecuencia, el color de los huevos de las gallinas alimentadas con este pienso sería más naranja que el color de los huevos del pienso en harina.

Si se compara la primera y la segunda fase a nivel descriptivo, se observa que, independientemente del tratamiento experimental, al final de la puesta, el porcentaje de producción se reduce y aumenta el peso del huevo acompañado de una menor resistencia a la rotura. Es bien sabido que la calidad de la cáscara de huevo está inversamente relacionada con la edad de las aves; así pues, los huevos pequeños tienen una cáscara más gruesa que los huevos más grandes o alargados, ya que las gallinas tienen una capacidad finita de depositar calcio en la cáscara y, como resultado, la misma cantidad de calcio es difundida sobre un área más grande. En el modo en que las gallinas van creciendo, el tamaño de huevo va incrementando, pero el porcentaje de cáscara comparado al tamaño del huevo disminuye (Rajkumar et al., 2009).

La calidad interna del huevo también empeora conforme avanza la puesta, ya que disminuye la tasa de absorción de nutrientes y otros compuestos con la edad. Por ello, se observa como las Unidades Haugh y el color de la yema (intensidad y depósito de carotenoides) se reducen a las 82 semanas de vida.

7. CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio con gallinas ponedoras desde 23 hasta 85 semanas de vida, alimentadas con dos tipos de presentación de pienso (harina o migaja), demuestran que:

- La alimentación de las gallinas ponedoras con pienso en migaja frente a harina da lugar a: un menor consumo de pienso y mejores índices de transformación del alimento a lo largo de todo el periodo de producción.
 - o Un mayor porcentaje de producción, y menor peso del huevo durante la fase avanzada del estudio (74 a 85 semanas de vida).
 - o Mayores valores de Unidades Haugh a las 82 semanas de vida.
- La alimentación de harina con un 50% del calcio en forma grosera en comparación con la migaja, da lugar a un mayor grosor de la cáscara a las 35 semanas de vida, sin embargo, a las 82 semanas de vida, ambos piensos consiguieron valores similares que superaban los 0,35 mm de grosor.
- El color de la yema del huevo varía con la forma del pienso administrado y la fase de producción. La pigmentación más alta se obtiene con el pienso en harina en las fases iniciales, mientras que, en fases finales, se consigue con el pienso en migaja.

Se puede concluir que la administración de pienso en migaja en comparación con la harina, durante todo el periodo de producción de huevos de las gallinas, da lugar a mejores rendimientos, tanto en número como en masa de huevos. Además, en las fases finales de la producción, se mantiene una alta calidad de la cáscara (resistencia y grosor) así como de la calidad interna, en concreto altos valores de Unidades Haugh y un adecuado color e intensidad de la yema. Sin embargo, es necesaria más investigación para ir clarificando el efecto de la forma de presentación del pienso sobre los rendimientos productivos y la calidad del huevo, con el fin de conseguir unos resultados más concluyentes y robustos.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Amerah, A. M., Ravindran, V., Lentle, R. G. y Thomas, D. G. (2007). Feed particle size: Implications on the digestion and performance of poultry. *World's Poultry Science Journal*, 63(3), 439-455. <https://doi.org/10.1017/S0043933907001560>
- AOAC International. (2005). Official Methods of Analysis of the AOAC International. 18th ed. AOAC Int., Gaithersburg, MD.
- Belyavin, C. G. y Marangos, A. G. (1987). Natural products for egg yolk pigmentation. *Poultry Nutrition*, 47-68. <https://doi.org/10.1016/B978-0-407-01163-2.50009-6>
- Bozkurt, M., Koçer, B., Ege, G., Tüzün, A. E., Bıyık, H. H. y Poyrazoğlu, E. (2019). Influence of the particle size and form of feed on growth performance, digestive tract traits and nutrient digestibility of white egg-laying pullets from 1 to 112 D of age. *Poultry Science*, 98(9), 4016-4029. <https://doi.org/10.3382/ps/pez144>
- de Coca-Sinova, A., Valencia, D. G., Jiménez-Moreno, E., Lázaro, R. y Mateos, G. G. (2008). Apparent Ileal Digestibility of Energy, Nitrogen, and Amino Acids of Soybean Meals of Different Origin in Broilers. *Poultry Science*, 87(12), 2613-2623. <https://doi.org/10.3382/ps.2008-00182>
- Dijkslag, M. A., Kwakkel, R. P., Martin-Chaves, E., Alfonso-Carrillo, C., Walvoort, C. y Navarro-Villa, A. (2021). The effects of dietary calcium and phosphorus level, and feed form during rearing on growth performance, bone traits and egg production in brown egg-type pullets from 0 to 32 weeks of age. *Poultry Science*, 100(6), 101130. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101130>
- Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:276:0033:0079:en:PDF>
- Ege, G., Bozkurt, M., Koçer, B., Tüzün, A. E., Uygün, M. y Alkan, G. (2019). Influence of feed particle size and feed form on productive performance, egg quality, gastrointestinal tract traits, digestive enzymes, intestinal morphology, and nutrient digestibility of laying hens reared in enriched cages. *Poultry Science*, 98(9), 3787-3801. <https://doi.org/10.3382/ps/pez082>
- Eisen, E. J., Bohren, B. B. y McKean, H. E. (1962). The Haugh Unit as a Measure of Egg Albumen Quality. *Poultry Science*, 41(5), 1461-1468. <https://doi.org/10.3382/ps.0411461>
- Ekeocha, A., Aganga, A., Odumboni, A. y Ayoola, S. (2021). Comparative Studies of Three Commercial Layers Feeds on Layers Performance and Egg Qualities Parameters. <https://www.sagepublisher.com/volume/JASAE/17/03/comparative-studies-of-three-commercial-layers-feeds-on-layers-performance-and-egg-qualities-parameters-610f6db233cd2.pdf>
- El-Sagheer, M., El-Hammady, H.Y., Hassanien, H.H.M. y Hassan, H.A. (2014). Effect of fasting period and feed form on post molt performance and egg quality in laying hens. *Egypt. Poult. Sci*, 34 (2), 619-634. <https://www.aun.edu.eg/agriculture/effect-fasting-period-and-feed-form-post-molt-performance-and-egg-quality-laying-hens>
- El Sitio Avícola (2016). Granulometría: importancia del tamaño de las partículas de alimento en las ponedoras. Recuperado el 7 de junio de 2023, de <https://www.elsitioavicola.com/articles/2967/granulometraa-importancia-del-tamaao-de-las-particulas-de-alimento-en-las-ponedoras-2/>
- Fox, J. y Bouchet-Valat, M. (2022). *Rcmdr: R Commander*. R package version 2.8-0, <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Misc/Rcmdr/>

- Frikha, M., Safaa, H. M., Serrano, M. P., Arbe, X. y Mateos, G. G. (2009). Influence of the main cereal and feed form of the diet on performance and digestive tract traits of brown-egg laying pullets. *Poultry Science*, 88(5), 994-1002. <https://doi.org/10.3382/ps.2008-00480>
- Fundación española para el desarrollo de la nutrición animal. (2018). Necesidades nutricionales para avicultura: normas FEDNA. 2nd ed. FEDNA, Madrid, Spain.
- Grobas, S., Mateos, G. G. y Méndez, J. (1999). Influence of Dietary Linoleic Acid on Production and Weight of Eggs and Egg Components in Young Brown Hens. *The Journal of Applied Poultry Research*, 8, 177-184. <https://doi.org/10.1093/japr/8.2.177>
- Guzmán, P., Saldaña, B., Mandalawi, H. A., Pérez-Bonilla, A., Lázaro, R. y Mateos, G. G. (2015). Productive performance of brown-egg laying pullets from hatching to 5 weeks of age as affected by fiber inclusion, feed form, and energy concentration of the diet. *Poultry Science*, 94(2), 249-261. <https://doi.org/10.3382/ps/peu072>
- Hamilton, R. M. G. y Proudfoot, F. G. (1995). Effects of ingredient particle size and feed form on the performance of Leghorn hens. *Canadian Journal of Animal Science*, 75(1), 109-114. <https://doi.org/10.4141/cjas95-014>
- Herrera, J., Saldaña, B., Cámara, L., Berrocoso, J. D. y Mateos, G. G. (2018a). Influence of grinding size of the main cereal of the diet on egg production and eggs quality of brown egg laying hens from 33 to 65 weeks of age. *Poultry Science*, 97(7), 2506-2515. <https://doi.org/10.3382/ps/pey098>
- Herrera, J., Saldaña, B., Guzmán, P., Cámara, L. y Mateos, G. G. (2017). Influence of particle size of the main cereal of the diet on egg production, gastrointestinal tract traits, and body measurements of brown laying hens. *Poultry Science*, 96(2), 440-448. <https://doi.org/10.3382/ps/pew256>
- Herrera, J., Saldaña, B., Guzmán, P., Ibáñez, M. A., Mandalawi, H., Cámara, L. y Mateos, G. G. (2018b). Particle size affects short-term preference behavior of brown-egg laying hens fed diets based on corn or barley. *Poultry Science*, 97(4), 1324-1333. <https://doi.org/10.3382/ps/pex441>
- ISA Brown (2009). Nutrition Management Guide. Institut de Selection Animale. B. V. Boxmeer (ed), The Netherlands.
- Jacob, J.P., Miles, R.D. y Mather, F.B. (2000). Egg quality. University of Florida. Recuperado el 28 de junio de 2023, de <http://ufdcimages.uflib.ufl.edu/ir/00/00/42/62/00001/ps02000.pdf>
- Jahan, M. S., Asaduzzaman, M. y Sarkar, A. K. (2006). Performance of broiler fed on mash, pellet and crumble. *International Journal of Poultry Science*, 5(3), 265-270. <https://doi.org/10.3923/ijps.2006.265.270>
- Karunajeewa, H., Hughes, R. J., McDonald, M. W. y Shenstone, F. S. (1984). A Review of Factors Influencing Pigmentation of Egg Yolks. *World's Poultry Science Journal*, 40(1), 52-65. <https://doi.org/10.1079/WPS19840006>
- Koçer, B., Bozkurt, M., Kucukyilmaz, K., Ege, G., Aksit, H., Orojpour, A., Topbaş, S., Tuzun, A., Bintas, E. y Seyrek, K. (2016). Effects of particle sizes and physical form of the diet on performance, egg quality and size of the digestive organs in laying hens. *European Poultry Science*, 80. <https://doi.org/10.1399/eps.2016.159>
- Ley 32/2007, de 7 de noviembre, para el cuidado de los animales, en su explotación, transporte, experimentación y sacrificio, Pub. L. No. Ley 32/2007, BOE-A-2007-19321 45914 (2007). <https://www.boe.es/eli/es/l/2007/11/07/32>
- Lindenmaier, P. y Kare, M. (1959). The Taste End-Organs of the Chicken. *Poultry Science*, 38, 545-550. <https://doi.org/10.3382/ps.0380545>
- Lohmann. (2019). Lohmann Brown-Classic Layers Management Guide Cage Housing. Lohmann Breeders, Cuxhaven, Germany.

- Massuquetto, A., Panisson, J. C., Schramm, V. G., Surek, D., Krabbe, E. L. y Maiorka, A. (2020). Effects of feed form and energy levels on growth performance, carcass yield and nutrient digestibility in broilers. *Animal*, 14(6), 1139-1146. <https://doi.org/10.1017/S1751731119003331>
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2023). Informe trimestral del sector avícola de puesta. Abril 2023. Recuperado el 30 de junio de 2023, de <https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/sectores-ganaderos/avicola-de-puesta/informestrimestrales.aspx>
- Novak, C., Yakout, H. y Scheideler, S. (2004). The Combined Effects of Dietary Lysine and Total Sulfur Amino Acid Level on Egg Production Parameters and Egg Components in Dekalb Delta Laying Hens. *Poultry Science*, 83(6), 977-984. <https://doi.org/10.1093/ps/83.6.977>
- Owens, J.M. y Heimann, M. (1994). Feed Manufacturing Technology. Ellhiney, R. R. (ed.). AFIA, Arlington, Virginia. EEUU. Pp 81-98.
- Pérez-Bonilla, A., Novoa, S., García, J., Mohiti-Asli, M., Frikha, M. y Mateos, G. G. (2012). Effects of energy concentration of the diet on productive performance and egg quality of brown egg-laying hens differing in initial body weight. *Poultry Science*, 91(12), 3156-3166. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02526>
- Rajkumar, U., Sharma, R.P., Rajaravindra, K.S., Niranjana, M., Reddy, B.L.N., Bhattacharya, T.K. y Chatterjee, R.N. (2009). Effect of Genotype and Age on Egg Quality Traits in Naked Neck Chicken under Tropical Climate from India. *International Journal of Poultry Science*, 8(12), 1151-1155. <https://doi.org/10.3923/ijps.2009.1151.1155>
- Real Decreto 2257/1994, de 25 de noviembre, por el que se aprueba los métodos oficiales de análisis de piensos o alimentos para animales y sus primeras materias, Pub. L. No. Real Decreto 2257/1994, BOE-A-1995-5541 7161 (1995). <https://www.boe.es/eli/es/rd/1994/11/25/2257>
- Roberts, J. R. (2004). Factors Affecting Egg Internal Quality and Egg Shell Quality in Laying Hens. *The Journal of Poultry Science*, 41(3), 161-177. <https://doi.org/10.2141/jpsa.41.161>
- Ruhnke, I., Röhe, I., Krämer, C., Goodarzi Boroojeni, F., Knorr, F., Mader, A., Schulze, E., Hafeez, A., Neumann, K., Löwe, R. y Zentek, J. (2015). The effects of particle size, milling method, and thermal treatment of feed on performance, apparent ileal digestibility, and pH of the digesta in laying hens. *Poultry Science*, 94(4), 692-699. <https://doi.org/10.3382/ps/pev030>
- Ruiz, A. (2010). Tesis doctoral: mejora de las condiciones de vida de las familias porcicultoras del Parque Porcino de Ventanilla, mediante un sistema de biodigestión y manejo integral de residuos sólidos y líquidos. Universitat Ramon Llull. Recuperado el 1 de julio de 2023, de <http://hdl.handle.net/10803/9296>.
- Safaa, H. M., Jiménez-Moreno, E., Valencia, D. G., Frikha, M., Serrano, M. P. y Mateos, G. G. (2009). Effect of main cereal of the diet and particle size of the cereal on productive performance and egg quality of brown egg-laying hens in early phase of production. *Poultry Science*, 88(3), 608-614. <https://doi.org/10.3382/ps.2008-00328>
- Safaa, H. M., Serrano, M. P., Valencia, D. G., Frikha, M., Jiménez-Moreno, E. y Mateos, G. G. (2008). Productive Performance and Egg Quality of Brown Egg-Laying Hens in the Late Phase of Production as Influenced by Level and Source of Calcium in the Diet. *Poultry Science*, 87(10), 2043-2051. <https://doi.org/10.3382/ps.2008-00110>
- Saldaña, B., Gewehr, C. E., Guzmán, P., García, J. y Mateos, G. G. (2016). Influence of feed form and energy concentration of the rearing phase diets on productivity, digestive tract development and body measurements of brown-egg laying hens fed diets varying in energy concentration from 17 to 46 wk of age. *Animal Feed Science and Technology*, 221, 87-100. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.08.025>

- Svihus, B. y Hetland, H. (2001). Ileal starch digestibility in growing broiler chickens fed on a wheat-based diet is improved by mash feeding, dilution with cellulose or whole wheat inclusion. *British Poultry Science*, 42(5), 633-637. <https://doi.org/10.1080/00071660120088461>
- Valencia, D. G., Serrano, M. P. y Mateos, G. G. (2012). El tamaño de partícula y la presentación del pienso en pollos de engorde. *Nutral SA, Madrid*. Recuperado el 22 de junio de 2023, de <https://seleccionesavicolas.com/pdf-files/2011/12/6409-el-tamano-de-particula-y-la-presentacion-del-pienso-en-pollos-de-engorde.pdf>
- Vuilleumier, J. P. (1969). The 'Roche Yolk Colour Fan'—An Instrument for Measuring Yolk Colour. *Poultry Science*, 48(3), 767-779. <https://doi.org/10.3382/ps.0480767>
- Wahlström, A., Tauson, R. y Elwinger, K. (1999). Production and egg quality as influenced by mash or crumbled diets fed to laying hens in an aviary system. *Poultry Science*, 78(12), 1675-1680. <https://doi.org/10.1093/ps/78.12.1675>
- Wan, Y., Ma, R., Khalid, A., Chai, L., Qi, R., Liu, W., Li, J., Li, Y. y Zhan, K. (2021). Effect of the Pellet and Mash Feed Forms on the Productive Performance, Egg Quality, Nutrient Metabolism, and Intestinal Morphology of Two Laying Hen Breeds. *Animals*, 11(3), 701. <https://doi.org/10.3390/ani11030701>
- Zheng, Y. W., Zhao, L. H., Wei, Y. M., Ma, Q. G., Ji, C. y Zhang, J. Y. (2020). Effects of main cereal type and feed form on production performance, egg quality and egg sanitary indices of laying hens. *British Poultry Science*, 61(2), 164-168. <https://doi.org/10.1080/00071668.2019.1704685>
- Ziolkowski, L. H., Gracheva, E. O. y Bagriantsev, S. N. (2022). Tactile sensation in birds: Physiological insights from avian mechanoreceptors. *Current opinion in neurobiology*, 74, 102548. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2022.102548>