



Facultad de Veterinaria  
Universidad Zaragoza



# Trabajo Fin de Grado en Veterinaria

Estudio de la calidad de la cáscara del huevo en dos estirpes de gallinas ponedoras.

*Study of egg shell quality in two strains of laying hens.*

Autora:

Claudia De Andrade Cruz

Directores:

Antonio Fernández Casasnovas,  
Diego Cortés Leris

Facultad de Veterinaria

2024

# ÍNDICE

<b>1.</b>	<b>RESUMEN .....</b>	4
<b>2.</b>	<b>ABSTRACT .....</b>	4
<b>3.</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	5
<b>3.1.</b>	<b>LA GALLINA DE PUESTA .....</b>	5
A.	SELECCIÓN .....	5
B.	CLASIFICACIÓN .....	5
<b>3.2.</b>	<b>EL HUEVO .....</b>	5
A.	EVOLUCIÓN DEL CONSUMO .....	6
B.	CONSIDERACIONES ECONÓMICAS Y MEDIOAMBIENTALES .....	6
C.	FORMACIÓN DEL HUEVO .....	7
<b>3.3.</b>	<b>LA CÁSCARA.....</b>	8
A.	CALIDAD DE LA CÁSCARA .....	8
B.	DEFECTOS DE LA CÁSCARA.....	11
C.	FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DE LA CÁSCARA .....	15
D.	MECANISMOS DE DEFENSA DE LA CÁSCARA.....	17
<b>3.4.</b>	<b>SANIDAD .....</b>	17
A.	ENFERMEDADES QUE AFECTAN A LA CALIDAD DE LA CÁSCARA DE ORIGEN VIRAL..	17
B.	ENFERMEDADES QUE AFECTAN A LA CALIDAD DE LA CÁSCARA DE ORIGEN BACTERIANO.....	19
C.	OSTEOPOROSIS Y FRACTURAS DE HUESOS .....	19
<b>3.5.</b>	<b>HIGIENE Y SEGURIDAD ALIMENTARIA .....</b>	20
A.	CONTAMINACIÓN DEL HUEVO .....	20
B.	ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR LOS HUEVOS A LOS HUMANOS .....	20
C.	CLASIFICACIÓN DE LOS HUEVOS .....	20
D.	SISTEMAS DE ALOJAMIENTO .....	21
<b>4.</b>	<b>JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS .....</b>	21
<b>5.</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	21
<b>5.1.</b>	<b>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....</b>	21
<b>5.2.</b>	<b>DISEÑO EXPERIMENTAL .....</b>	22
A.	ANIMALES.....	22
B.	CAMBIOS EN LA ALIMENTACIÓN .....	22
C.	HUEVOS.....	23
D.	MEDICIONES .....	23
E.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	23
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	24

6.1.	EVOLUCIÓN DEL PESO MEDIO DEL HUEVO (PMH) EN LA ESTIRPE A .....	24
6.2.	EVOLUCIÓN DEL PESO MEDIO DEL HUEVO (PMH) EN LA ESTIRPE B .....	24
6.3.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PMH EN AMBAS ESTIRPES .....	25
6.4.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PESO DEL HUEVO POR TALLAS COMERCIALES.....	25
6.5.	COMPARACIÓN DEL PMH CON EL ESTÁNDAR DE CADA ESTIRPE COMERCIAL .....	26
6.6.	EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA DEL HUEVO EN AMBAS ESTIRPES .....	26
6.7.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA RESISTENCIA DEL HUEVO EN AMBAS ESTIRPES .....	27
6.8.	COMPARACIÓN DE LA EVOLUCIÓN DEL PESO Y LA RESISTENCIA.....	28
6.9.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA RESISTENCIA POR TALLAS COMERCIALES.....	28
7.	DISCUSIÓN .....	30
8.	CONCLUSIONES .....	31
9.	CONCLUSIONS .....	32
10.	VALORACIÓN PERSONAL .....	33
11.	BIBLIOGRAFÍA .....	34

## **1. RESUMEN**

El huevo de gallina no fertilizado es un nutriente de alta calidad en la dieta humana. Con el aumento de la demanda del huevo se han extendido los ciclos de puesta. La persistencia en la puesta no se puede lograr sin considerar cómo mejorar la calidad de la cáscara del huevo en ciclos más largos. Los huevos rotos (o agrietados) son una fuente importante de pérdidas económicas, ya que no se pueden vender para su consumo en fresco y pueden favorecer que las bacterias ingresen a través de la cáscara, causando problemas de seguridad alimentaria.

En el presente experimento se analiza la evolución del peso del huevo y la resistencia de la cáscara en dos estirpes diferentes de gallinas, A y B, durante un período significativo. El estudio proporciona información sobre los cambios en estos parámetros a medida que las gallinas envejecen, así como el impacto de los cambios en la alimentación y las intervenciones sanitarias.

En este estudio se observó que el peso del huevo aumenta con la edad de las gallinas, sin diferencias sustanciales entre las dos estirpes, y la resistencia de la cáscara del huevo disminuye con la edad, pero la Estirpe A muestra consistentemente una mayor resistencia que la Estirpe B. Por tanto, la Estirpe A es más favorable para la producción de huevos más grandes y resistentes. También influyen tanto en el peso del huevo como en la resistencia de la cáscara los cambios en la alimentación y las intervenciones sanitarias.

## **2. ABSTRACT**

The unfertilized chicken egg is a high-quality nutrient in the human diet. With the increasing demand for eggs, laying cycles have been extended. Persistence in laying cannot be achieved without considering how to improve eggshell quality in longer cycles. Broken (or cracked) eggs are a significant source of economic loss as they cannot be sold for fresh consumption and can allow bacteria to enter through the shell, causing food safety issues.

In the present experiment, the evolution of egg weight and shell resistance is analysed in two different strains of hens, A and B, over a significant period. The study provides information on changes in these parameters as the hens age, as well as the impact of dietary changes and health interventions.

In this study, it was observed that egg weight increases with the age of the hens, with no substantial differences between the two strains, and eggshell resistance decreases with age. However, Strain A consistently shows greater resistance than Strain B. Therefore, Strain A is more favourable to produce larger and more resistant eggs. Both dietary changes and health interventions influence egg weight and shell resistance.

### **3. INTRODUCCIÓN**

#### **3.1. LA GALLINA DE PUESTA**

##### **A. SELECCIÓN**

En los últimos 50 años, la mejora genética en avicultura ha tenido grandes avances. La selección inicial fue a nivel de raza y, más adelante, la genética cuantitativa, junto con una pirámide de reproducción sofisticada, ha dado como resultado un híbrido muy productivo para diferentes caracteres asociados con la producción de huevos. El concepto de “*long life layer*” (la gallina de las 100 semanas) para aquellas gallinas que sean capaces de producir 500 huevos en un ciclo de puesta de 100 semanas está relacionado con un carácter importante, que es la persistencia de la puesta. Sin embargo, no se puede lograr sin considerar cómo mantener la calidad del huevo y la salud y el bienestar de las aves en ciclos de puesta más largos. Estos múltiples objetivos requieren conocimiento y tener en cuenta la fisiología del ave, los requisitos nutricionales, el estado reproductivo y la elección de los criterios de selección aplicados (Bain et al., 2016).

##### **B. CLASIFICACIÓN**

En la avicultura de puesta, llamamos comúnmente híbridos comerciales o estirpes híbridas a las gallinas de la especie *Gallus gallus*, que están destinadas a la producción industrial de huevos y provienen de 4 a 6 razas en las que se han ido seleccionando los caracteres de interés. Dentro de estas estirpes hay una clasificación, utilizando el peso como criterio, en la que diferenciamos a las gallinas en ligeras y semipesadas. **Las ligeras** tienen un peso de menos de 2 kg de peso vivo (1,5-1,9 kg) al final de la puesta. Proceden principalmente de la raza *Leghorn*, ponen huevo blanco y su índice de conversión es de 2,0-2,2 kg de pienso por kg de huevo producido. **Las semipesadas** suelen tener un peso medio de 2,5 a 4 kg (1,8-2,3 kg al final de la puesta), derivan de la *Rhode Island* y la *New Hampshire*, entre otras, ponen huevo moreno y su índice de conversión es de 2,1-2,3 kg de pienso por kg de huevo producido. En origen, la productividad de las semipesadas era inferior a las ligeras, por el número de huevos totales, pero hoy en día la producción es similar, aunque cabe destacar que las de huevo moreno tienen índices de transformación peores debido a sus pesos superiores a las de huevo blanco (Sañudo, 2011).

#### **3.2. EL HUEVO**

Clasificamos la producción de huevos en: **huevo blanco**, con una media de 62-63 gramos de peso y entre 280-320 huevos en 12 meses, llegando hasta los 350-360 en 14 meses (suponiendo 19-22 kg de huevo por gallina alojada y año), y **huevo moreno**, con 63-66 gramos y entre 290-320 huevos en 12 meses, pudiendo llegar hasta los 355-365 en 14 meses (esto supone 18-21 kg de huevo por gallina alojada y año) (Sañudo, 2011).

## A. EVOLUCIÓN DEL CONSUMO

Durante la década de 1990, el consumo de huevos sufrió una drástica disminución debido a la preocupación por su alto contenido de colesterol y su relación con la enfermedad coronaria, pese a que el nivel de colesterol en sangre ocupa sólo la cuarta o quinta posición entre los factores de riesgo de enfermedad coronaria (siendo el tabaco, el exceso de peso corporal, la falta de ejercicio y la hipertensión otros factores importantes de riesgo). La publicidad sobre los efectos no comprobados del colesterol en la enfermedad coronaria ha tenido un impacto relevante en la venta de alimentos ricos en colesterol, especialmente en el huevo (FAO, 2013). En las próximas cuatro décadas, se prevé que la población mundial aumentará un 25% y, para hacer frente a este desafío, la producción de alimentos debe aumentar un 60% (FAOSTAT, 2023). Los huevos constituyen una de las fuentes de proteína animal más asequibles y, a pesar de la mala fama que llevó el consumo de huevos en décadas pasadas por lo comentado anteriormente y por toxinfecciones por *Salmonella*, actualmente su consumo se ha recuperado y está aumentando, con datos para España de un 8% para el 2023, según el Observatorio del Consumo de Huevo en España (Avinews 2024).

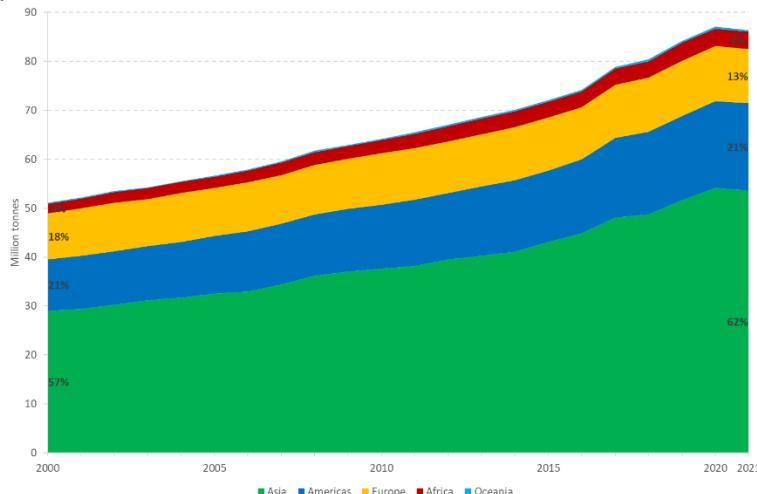


Figura 1: Producción mundial de huevos. Fuente: FAOSTAT, 2023.

## B. CONSIDERACIONES ECONÓMICAS Y MEDIOAMBIENTALES

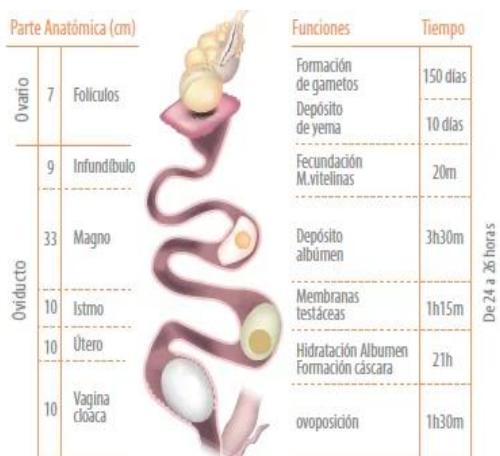
La prioridad es aumentar la producción de huevos mediante la reproducción para lograr una mayor persistencia en la puesta y estabilidad en la calidad del huevo, alargando el ciclo de las ponedoras comerciales hasta 90-100 semanas. Esto puede traer beneficios tanto financieros como ambientales; por ejemplo, 25 huevos más por gallina podrían reducir potencialmente el número de gallinas del Reino Unido (incluidas las reproductoras) en 2,5 millones por año. Esto derivaría en una utilización más eficiente de los recursos cada vez más escasos, incluidos la tierra, el agua, materias primas para piensos, así como una reducción de residuos, de la huella de carbono y de los alimentos necesarios para su mantenimiento (Bain et al., 2016).

### C. FORMACIÓN DEL HUEVO

La producción casi diaria de un óvulo por una ponedora comercial es factible gracias al desarrollo simultáneo de una serie de folículos en el ovario izquierdo. Esto sigue una jerarquía definida; solo un folículo alcanza la maduración dentro de cada período de 24h. Después de la ovulación, la yema desciende por el oviducto y sufre sucesivas deposiciones de los diferentes componentes del huevo (la albúmina, las membranas y la cáscara), secretados por **seis segmentos** claramente especializados. La membrana vitelina externa se deposita durante su paso a través del **infundíbulo**. En las primeras 4h, la clara del huevo (albúmina) se segregan en el **magno**, la región más larga y glandular del oviducto. Luego viaja a través del **istmo blanco**, donde se secretan y ensamblan los precursores de las membranas testáceas durante aproximadamente 1h.

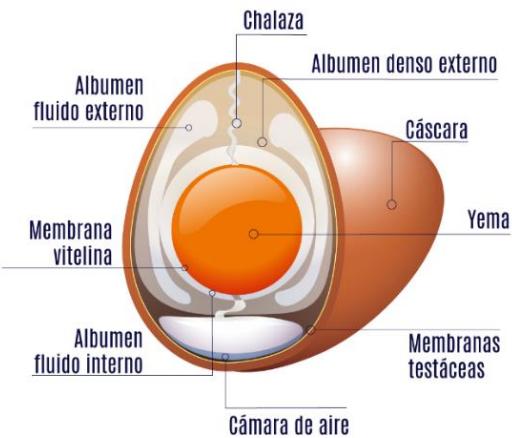
Cinco horas después de la ovulación, ingresa en el **istmo rojo** (glándula de la cáscara tubular) y se da la primera etapa de mineralización inicial de la cáscara. Las membranas internas permanecen sin calcificar, mientras que en la membrana externa se depositan una serie de proteínas de matriz orgánica que se convierten en distintos sitios de nucleación de cristales. Esto da origen a las protuberancias mamilares que se incorporan a la estructura calcificada y modifican sus propiedades biomecánicas, además de participar como defensa antimicrobiana, creando la capa mamilar (o cuerpo mamilar/capa cónica). Cuando el óvulo llega al **útero** (bolsa de la glándula de la cáscara), permanece durante las siguientes 21h allí y se forma la cáscara. El grosor de esta depende del tiempo y de la disponibilidad de calcio en la zona en ese momento. Primero adquiere su forma ovoide mediante la hidratación de la albúmina y luego se mineraliza por precipitación controlada de carbonato de calcio en forma de calcita, entre las membranas y la mucosa de la pared uterina (mediante un líquido acelular que contiene calcio ionizado e iones de bicarbonato).

La segunda etapa es la mineralización rápida de la capa empalizada (la capa más gruesa de la cáscara), formada por grandes columnas. La tercera etapa es la calcificación terminada con una delgada capa de cristal vertical. En las últimas 1,5 h y justo antes de la oposición, se deposita el pigmento de la cáscara y finalmente la cutícula, una película proteica que facilita la rotación del óvulo en el útero actuando como lubricante y que taponará los numerosos poros que presenta la cáscara, actuando como barrera protectora ante microorganismos. En este momento, el huevo está listo para la puesta, siendo expulsado por la **cloaca**. La siguiente ovulación tendrá lugar después de la expulsión del óvulo, pero en algunos casos también puede ocurrir justo antes (Bain et al., 2016; Hincke et al., 2012; Gautron et al., 2021).



**Figura 2:** Esquema de la formación del huevo.

Fuente: Avinews España febrero 2022.



**Figura 3:** Partes del huevo. Fuente: Los juegos del huevo.

### 3.3. LA CÁSCARA

Es un material biocerámico poroso de un grosor medio 0,3-0,4 mm que se forma a temperatura corporal y contiene aproximadamente 6 g de mineral que se deposita durante su ciclo de producción diario (Hincke et al., 2012). Representa del 10 al 11% del peso del huevo y su espesor es de aproximadamente 320 µm. Contiene 1,6% de agua, 3,5% de matriz orgánica y 95% de minerales inorgánicos, principalmente carbonato de calcio. El fósforo también está presente en la parte exterior y en la cutícula. Además, se encuentran numerosos oligoelementos como magnesio, manganeso, cobre y zinc (Gautron et al., 2021).

#### A. CALIDAD DE LA CÁSCARA

Cualquier defecto en la estructura resulta en una reducción de la calidad de la cáscara. Esto no sólo afecta las preferencias de los consumidores, sino que también influye en la rentabilidad de los productores. Hasta un 4,77% de los huevos producidos no se pueden vender por defectos en la cáscara, lo que provoca pérdidas económicas importantes (Cheng y Ning, 2023).

Hay diferentes métodos para evaluar la calidad y algunos requieren la destrucción del huevo. Los métodos directos incluyen mediciones de la resistencia de la cáscara como fuerza de fractura por impacto, fuerza de perforación o compresión cuasiestática. Los métodos indirectos son: gravedad específica, deformación no destructiva, espesor de la cáscara, densidad y peso de la cáscara. Las mediciones directas e indirectas de la resistencia de la cáscara también pueden considerarse propiedades mecánicas y físicas del huevo, respectivamente (Roberts, 2004).

La calidad de los huevos de mesa también podría evaluarse a partir de diferentes características externas como el color, la resistencia y las grietas de la cáscara explicadas a continuación:

#### COLOR DE LA CÁSCARA

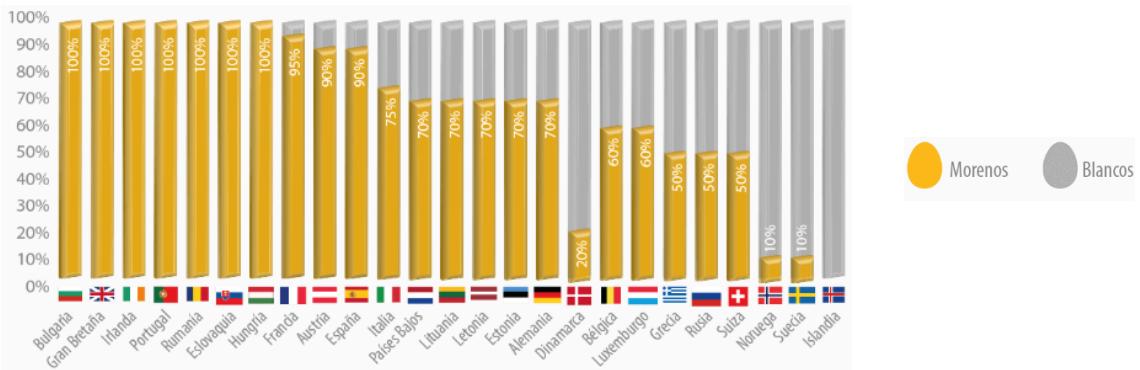
El color de la cáscara suele verse afectado por la época de puesta, la nutrición, las enfermedades, todo tipo de estímulos, fármacos, etc. Si el color se atenúa, puede ser un indicador de que el rendimiento de la puesta se está reduciendo (Yang et al., 2009). Normalmente se considera que la calidad interna de un óvulo tiene una correlación directa con sus características externas. Por tanto, el color de la cáscara podría ejercer como un marcador esencial para diferentes enfermedades dentro de un huevo, así como en la calidad de la cutícula (Eddin et al., 2019). En los estudios de Bi et al. (2018) y Samiullah et al. (2016), se concluye que con el aumento de la edad de la gallina de huevo moreno, el color de la cáscara se desvanece gradualmente durante el proceso de envejecimiento, y es el resultado de la degradación del funcionamiento fisiológico de la gallina. Este cambio en el color de la cáscara también es por un aumento en el tamaño del huevo sin un aumento concomitante en la pigmentación y da como resultado una mayor superficie de la misma, que se cubre con una determinada cantidad de pigmento a medida que la gallina envejece y pone huevos más grandes (Odabasi et al., 2007).

Según Djokić et al. (2023) los huevos marrones tenían una mayor calidad externa (mayor peso y grosor de la cáscara del huevo dado el mayor depósito de calcio) que los huevos blancos, y los segundos presentaron una mayor suciedad de la cáscara.



**Figura 4:** Comparativa de colores de cáscara del presente estudio. Fuente: elaboración propia.

En la producción industrial interesa una uniformidad en el color del huevo, ya que, seguido de la calidad de la cáscara y el peso del huevo, el color de la cáscara es importante para el consumidor, y su preferencia depende de los hábitos tradicionales y culturales de cada país. Como se puede observar en las figuras 5 y 6, el consumo de huevo moreno en Europa y en España es mayor que el de huevo blanco, a excepción de los países escandinavos, en los que lidera el huevo blanco. En Bélgica, Luxemburgo, Grecia, Rusia y Suiza se consumen ambos colores. Por el contrario, los norteamericanos y los mexicanos consumen huevos blancos casi al 100% (Mozafa, F., 2021).



**Figuras 5 y 6:** Preferencias en el color del consumo del huevo en Europa. Fuente:

<https://ibertec.es/articulos/blancos-o-morenos-esa-es-la-cuestion/>

### RESISTENCIA DE LA CÁSCARA

La cáscara del huevo es el material de embalaje natural para el contenido del huevo y, por tanto, es importante obtener una alta resistencia de la cáscara para que aguante todos los impactos a los que está sometido un huevo durante la cadena de producción (Mertens et al., 2006). La alta resistencia de la cáscara se asocia con una baja fragilidad y una mayor viabilidad para el transporte y el almacenamiento. Los huevos frágiles provocan pérdidas económicas y aumentan el riesgo de contaminación bacteriana (Eddin et al., 2019).

La resistencia de la cáscara está significativamente correlacionada con el espesor de la cáscara y su ultraestructura. Por ejemplo, Roberts (2004) explica que cuando el peso, el porcentaje y el espesor de la cáscara son buenos, pero la resistencia a la rotura es relativamente pobre, probablemente se deba a su ultraestructura. Esta resistencia disminuye con el avance de la edad en ponedoras comerciales y se atribuye a cambios en el metabolismo del calcio del que dependen el tamaño y crecimiento del óvulo (Mertens et al., 2006). La medición de la resistencia a la rotura y la deformación de la cáscara requiere el uso de equipos especiales y se mide comúnmente mediante compresión cuasiestática. Diferentes estudios han demostrado una fuerte correlación negativa entre la resistencia a la rotura de la cáscara medida por compresión cuasiestática y el porcentaje de grietas en la misma (Roberts, 2004).

### GRIETAS EN LA CÁSCARA

Una pequeña grieta dentro de la cáscara del huevo es suficiente para introducir contaminación microbiana en su interior. Por lo tanto, los huevos comerciales deben evaluarse adecuadamente para detectarlas. Actualmente se implementan diferentes métodos automatizados para detectarlas, como máquinas clasificadoras electrónicas de alta velocidad que aceleran el proceso de observación al trasluz. La inspección con sistema acústico consigue una detección de forma muy precisa y se utiliza con éxito (Eddin et al., 2019).



**Figura 7:** El detector acústico más utilizado en la industria es de la marca Mobba. Fuente:

<https://www.mobba.net/page/es/Products/Detail/deteccin-de-roturas/1085>

## B. DEFECTOS DE LA CÁSCARA

Wengerska et al. (2023) estudiaron la influencia de los defectos de la cáscara en la calidad de los huevos después del almacenamiento y concluyeron que todos los defectos que se van a explicar a continuación influyeron significativamente en las características del huevo para consumo, modificando su permeabilidad, la pérdida de agua y el pH, entre otros.

### HUEVOS TRANSLÚCIDOS/ HUEVOS MOTEADOS

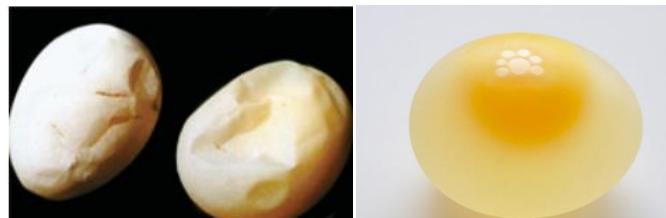
Tienen una apariencia irregular a simple vista. Las manchas son más translúcidas que las otras áreas de la cáscara y se pueden ver claramente al mirarlas al trasluz. Esta condición ocurre cuando la cáscara no se seca rápidamente. Es común en naves superpobladas y con mucha humedad (Dunkley, 2022). Presentan un defecto en la capa mamilar que la hace más gruesa durante la mineralización; aunque se ha demostrado que la translucidez desigual de la cáscara del huevo no está relacionada con el grosor de la cáscara, sino que se debe a la distribución no uniforme de la humedad en toda la cáscara (Cheng y Ning, 2022).



**Figuras 8, 9, 10 y 11:** Huevos moteados y translúcidos observados con ovoscopio. Fuente: elaboración propia.

### **HUEVOS DE CÁSCARA BLANDA O SIN CÁSCARA.**

Los huevos con cáscara blanda (o sin cáscara), también conocidos como huevos en fárfara, generalmente tienen más probabilidades de ocurrir en los primeros 10 meses de producción y con mayor frecuencia durante el período tardío de puesta. Generalmente se expulsan durante la formación de protuberancias mamilares o en etapas más avanzadas y su incidencia puede variar de un 0,5 a 6% (Cheng y Ning, 2022).



**Figura 12:** Huevo de cáscara blanda. Fuente: <https://www.thepoultrysite.com/publications/egg-quality-handbook/16/thinshelled-eggs-and-shellless-eggs>

**Figura 13:** Huevo en cáscara o en fárfara. Fuente: Biswarup Ganguly, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chicken\\_Egg\\_without\\_Eggshell\\_5859.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chicken_Egg_without_Eggshell_5859.jpg)

### **HUEVOS CORRUGADOS**

Presentan una superficie muy rugosa y de aspecto corrugado. Esto sucede durante la formación de la cáscara en la que se bombean fluidos ricos en nutrientes al huevo cubierto de membrana antes de que la cáscara se coloque sobre la membrana. Es más común con el avance de la edad, pero puede observarse en jóvenes también (Dunkley, 2022).



**Figura 14:** Huevo en fárfara del presente estudio. Fuente: elaboración propia.

### **FISURAS DE ESTRELLA**

Están producidas por impactos y su frecuencia es de entre 1 y 2% (Soler y Bueso, 2018).



**Figura 15:** Fisura en estrella observada con ovoscopio. Fuente: elaboración propia.

#### *HUEVOS CON GRANOS/”PAPEL DE LIJA”*

Según diversos estudios, estos huevos tienen una menor resistencia a la rotura y espesor de la cáscara que los huevos normales, lo que causa problemas de transporte porque se puede formar un hueco cuando se eliminan los granos de la superficie exterior, pudiendo ocasionar fugas del contenido. También puede estar relacionado con la edad de las gallinas, ya que la atrofia y la degeneración de la glándula de la cáscara durante el último período de puesta contribuyen al desarrollo de la cáscara con granos. Un estudio comparando huevos con granos y huevos normales no encontró diferencias en el peso del huevo, de la membrana, ni la forma de la cáscara del huevo. Sin embargo, otras variables como el peso de la cáscara calcificada, la resistencia a la rotura y el grosor general de la cáscara calcificada de los huevos con granos fueron significativamente más bajos que los de los normales (Cheng y Ning, 2022).

En el estudio de Khogali et al. (2021), concluyeron que el mecanismo de producción de estos huevos no está claro, aunque sus resultados sugirieron diferencias estructurales y funcionales en el útero de los grupos que presentaban este defecto y los que no, ya que contribuyen a su formación en las gallinas durante la fase tardía del ciclo de puesta.



**Figura 16:** Huevo con granos del presente estudio. Fuente: elaboración propia.

#### *HUEVOS CON BANDA BLANCA Y APLANADOS*

El huevo con bandas blancas es el que se retiene más allá del tiempo normal de oviposición, y el huevo aplanado es el que entró en la glándula de la cáscara mientras el primer huevo todavía estaba allí. Esto puede estar causado por estrés (Roberts, 2004).



**Figura 17:** Huevo con banda blanca del presente estudio. Fuente: elaboración propia.

**Figura 18.** Huevo aplanado. Fuente: [https://secure.caes.uga.edu/extension/publications/files/pdf/C%201255\\_1.PDF](https://secure.caes.uga.edu/extension/publications/files/pdf/C%201255_1.PDF)

### *HUEVOS LILA*

El color lila está causado por una capa extra de calcio y de cutícula que se deposita por situaciones de estrés en el que el huevo permanece más tiempo dentro de la gallina o por exceso de calcio en la dieta (Alltech, 2018).



**Figura 19:** Huevos lila. Fuente: Cortesía de Diego Cortés Leris.

### *DEPÓSITOS DE CALCIO*

Los depósitos de calcio de forma irregular pueden verse en la superficie de la cáscara. Esto puede ocurrir si la glándula de la cáscara está defectuosa o si hay alteraciones durante el proceso de calcificación durante la formación del huevo. El exceso de calcio y/o la vitamina D en la dieta también puede provocar depósitos de calcio en los huevos (Dunkley, 2022).



**Figura 20:** Depósitos de calcio en un huevo del presente estudio. Fuente: elaboración propia.

### *HUEVOS ROTOS O AGRIETADOS*

Son una causa importante de pérdidas económicas, ya que hay que desecharlos debido a que las bacterias pueden penetrar la cáscara y provocar un problema de seguridad alimentaria (Cheng y Ning, 2022). Hay diferentes factores que aumentan el riesgo de que las cáscaras de huevo se rompan, como la calidad de la cáscara, la predisposición genética, la manipulación manual y la temperatura a la que se almacenan (Eddin et al., 2019).

### *HUEVOS SUCIOS*

Los huevos pueden ensuciarse si permanecen demasiado tiempo en los nidos, aunque esto es más común cuando los excrementos son húmedos y pastosos. Esto puede estar causado por grandes cantidades de compuestos no digeribles en el pienso, la mala salud intestinal o el agua salada (Dunkley, 2022).

### C. FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DE LA CÁSCARA

Hay factores hereditarios y estímulos ambientales externos que perjudican la función uterina e interfieren con la mineralización de la cáscara del huevo. Es un nuevo desafío para los genetistas el mejorarla manteniendo una alta producción (Cheng y Ning, 2022). Estos factores son:

#### *EDAD DE LA GALLINA*

A medida que las gallinas envejecen, la mala calidad de la cáscara es más común (Cheng y Ning, 2022). Esta disminución de la calidad con la edad es resultado de un aumento en el tamaño del huevo sin un aumento proporcional en la deposición de carbonato de calcio en la cáscara del huevo (Odabasi et al., 2007).

#### *ESTIRPE (GENÉTICA)*

El resultado de la selección genética hace que las diferentes estirpes varíen en la calidad, el tamaño del huevo y la producción. Seleccionando un carácter como la producción o el peso del huevo puede afectar a la calidad de la cáscara (Roberts, 2004).

#### *ESTRÉS GENERAL Y ESTRÉS POR CALOR*

Se ha demostrado que las altas densidades de aves pueden aumentar la incidencia de huevos con alteraciones, ya que el estrés puede inducir retrasos en el momento de la oviposición y provocar que las gallinas retengan sus huevos. La reubicación de las gallinas o el manejo de aves que no están acostumbradas puede producir huevos con depósitos de calcio, con bandas blancas y aplanados, así como aumentar el número de huevos agrietados y sucios (Roberts, 2004).

Teniendo en cuenta el estrés social, el establecimiento de la jerarquía y la competencia entre gallinas provocan situaciones de nerviosismo que dan lugar a huevos picados o manchados de sangre como consecuencia del picaje y canibalismo entre aves, así como a huevos frágiles por deficiente acceso al pienso (Soler y Bueso, 2018).

La temperatura ambiente óptima para la producción de huevos es de 24 °C. Las altas temperaturas provocan un aumento de la frecuencia respiratoria y, como consecuencia, la eliminación de CO<sub>2</sub> en sangre, provocando un estado de alcalosis y aumentando la eliminación de bicarbonato a través de la orina. Esto reduce la concentración disponible de calcio y bicarbonato y genera la aparición de huevos con cáscaras débiles, delgadas y en fárfara (Soler y Bueso, 2018). Para corregir esto, Altan et al. (2000) sugieren una suplementación en bicarbonato de sodio para mejorar la calidad de la cáscara y corregir las deficiencias.

## *NUTRICIÓN*

El metabolismo del **calcio** está muy relacionado con la formación de huevos. Durante el proceso de formación de la cáscara en el útero, no hay almacenamiento de calcio, sino que proviene directamente de la sangre y aporta diariamente los 2g necesarios para la formación de la cáscara. Una parte del calcio proviene de la dieta de la gallina directamente por absorción intestinal, y un 40% de este se deriva de la movilización ósea, gracias al reservorio de calcio del hueso medular. El suministro de calcio para la formación de la cáscara es un desafío para el metabolismo de la gallina, ya que presenta numerosos cambios fisiológicos (Gautron et al., 2021).

El **fósforo** también juega un papel esencial en la formación de la cáscara, ya que una alimentación inadecuada de fósforo puede provocar la desmineralización del esqueleto de las gallinas ponedoras. La proporción de calcio y fósforo en la dieta es importante. Por otro lado, los niveles altos de fósforo pueden interferir en la absorción de calcio en el intestino, lo que resultaría en una reducción de la calidad de la cáscara.

La **vitamina D** es necesaria para el metabolismo del calcio y debe incluirse en la dieta. Los niveles adecuados de vitamina C son esenciales para una buena salud y también pueden ayudar a aliviar los efectos del estrés, así como la vitamina E.

La contaminación del alimento con **micotoxinas** tiene el potencial de reducir la producción y la calidad de la cáscara del huevo, aunque es probable que esté relacionado con una reducción en el consumo del alimento contaminado (Roberts, 2004).

## *SISTEMA DE PRODUCCIÓN*

El estudio de Samiullah et al. (2014) demostró que la puntuación de translucidez y la reflectividad de la cáscara fueron significativamente mayores en los huevos de gallinas camperas que en las de jaulas y aumentaron con la edad de las aves en ambos sistemas de producción. Además, el peso del huevo y de la cáscara, la cantidad de cutícula, el porcentaje y el espesor de la cáscara fueron mayores para los huevos de jaula. También se observó una carga microbiana total significativamente menor en los huevos de jaula comparados con las camperas. Vlčková et al. (2018) detectaron una mayor contaminación microbiana en gallinas camperas y que la penetración de bacterias en el contenido del huevo estaba relacionada con la cantidad de microorganismos en la superficie de la cáscara.

## *ENFERMEDADES*

Cualquier enfermedad que comprometa la salud del ave puede dar lugar a huevos y cáscaras defectuosos por medios indirectos (Roberts, 2004).

#### D. MECANISMOS DE DEFENSA DE LA CÁSCARA

Los poros presentan un papel crucial en el intercambio de gases y la regulación de la humedad necesarios para la supervivencia y el desarrollo del embrión, pero también pueden ser rutas para la penetración de microorganismos patógenos. El huevo tiene varios mecanismos físicos y químicos de defensa que protegen su contenido, como la cutícula, la cáscara y la membrana, que actúan como barreras y consiguen que el contenido del huevo pueda permanecer intacto aunque haya presencia de contaminación. Además, la cáscara contiene lisozima y ovotransferrina, que también actúan como filtros antibacterianos.

La cutícula impide la penetración de agua y se ha demostrado que una cutícula de alta calidad tiene una función como barrera física contra la invasión microbiana. El estudio de Samiullah et al. (2014) demostró una disminución de la cutícula con el avance de la edad de la gallina, lo que podría relacionarse con una menor defensa del huevo con el aumento de la edad.

Los factores que contribuyen a la penetración de microorganismos incluyen la contaminación de la superficie de la cáscara y las grietas en la cáscara. En conclusión, una membrana de cáscara de huevo con múltiples capas y una cáscara gruesa con baja porosidad tienen mayor potencial antimicrobiano (Sim et al., 2024; Chen et al., 2019).

### 3.4. SANIDAD

#### A. ENFERMEDADES QUE AFECTAN A LA CALIDAD DE LA CÁSCARA DE ORIGEN VIRAL

##### *ENFERMEDAD DE NEWCASTLE*

La disminución en la producción de huevos y el deterioro de la calidad de la cáscara del huevo están asociados con una citopatología grave en el útero, que causa cambios patológicos que incluyen apoptosis y abrasión en esas células (Li et al., 2017). Generalmente cambia la estructura de la superficie exterior de la cáscara y la membrana de la cáscara al infectar los oviductos de las gallinas ponedoras (Cheng y Ning, 2022).

##### *SÍNDROME DE LA CAÍDA DE LA PUESTA*

Causado por el Adenovirus del grupo III. El primer signo de la enfermedad es la pérdida de pigmentación de los huevos, seguido rápidamente por la aparición de cáscara blanda, deformada o ausencia de esta. La caída de la puesta puede ser súbita o prolongada. Además de los ovarios inactivos y la atrofia del oviducto, no se observan otras lesiones. La replicación del virus en las células epiteliales de las glándulas del oviducto produce un cambio inflamatorio severo y distrófico de la cubierta mucosa. La apariencia de los huevos con calidad variable y la caída de la producción son signos que sugieren la presencia de EDS (Egg Drop Syndrome) (Dinev, 2011).

### **INFLUENZA AVIAR**

Las infecciones originales por el virus HPAI (Highly Pathogenic Avian Influenza) en aves de corral se asociaron con una enfermedad clínica grave. Los primeros indicios de un brote pueden ser una disminución del consumo de alimento y agua, un aumento de las tasas de mortalidad o una disminución en la producción de huevos. Sin embargo, las caídas en la producción no deben ser el primer indicador de una infección, ya que la producción de huevos puede ser normal hasta 4 días después de la exposición a la enfermedad o hasta la muerte del ave. Posteriormente se ha reconocido la influenza aviar de baja patogenicidad (LPAI), la cual sí que está asociada a caídas en la producción de huevos (Hester, 2017). Las gallinas infectadas por cualquiera de estas dos presentan diversos grados de síntomas, incluyendo un aumento de la apoptosis celular en los tractos respiratorio y digestivo, así como cambios fisiológicos en el tracto reproductivo. Los oviductos de las gallinas infectadas muestran signos de edema y las células epiteliales presentan degeneración o necrosis. Las células infectadas no pueden realizar funciones específicas, lo que provoca una disminución en la producción de óvulos (Bi et al., 2010).

### **BRONQUITIS INFECCIOSA**

La infección por IBV (Infectious Bronchitis Virus) causa grandes pérdidas a la industria del huevo, debido a una grave caída de la producción de huevos y a la pérdida de calidad de estos, como disminución en el peso del huevo y una mayor frecuencia de cáscaras delgadas, deformes y corrugadas (Hester, 2017). El síndrome de la falsa ponedora se asocia con el desarrollo anormal del oviducto, y es un signo clínico que ocurre con la infección de diferentes serotipos de IBV en las primeras etapas de la vida. Según Hassan et al. (2022) las gallinas infectadas parecían apagadas y con las plumas erizadas; sin embargo, no se observaron manifestaciones respiratorias claras. A los 5 días post infección, la producción de huevos cayó al 40% en el grupo infectado y se mantuvo entre el 20% y el 60% hasta el final del experimento. También se registró una disminución estadísticamente significativa en la producción de huevos a los 9 días post infección y no se observaron huevos deformes (huevos con cáscara rugosa, blanda o sin cáscara) durante todo el período experimental. Por el contrario, en el estudio de Chousalkar y Roberts (2007), la producción de huevos no se vio afectada, aunque sí hubo reducciones en la calidad del huevo y pérdida del color de la cáscara. Esto demuestra que la patogenicidad depende de la cepa involucrada, la edad y el estado inmunológico del huésped.

## B. ENFERMEDADES QUE AFECTAN A LA CALIDAD DE LA CÁSCARA DE ORIGEN BACTERIANO

### **MICOPLOSMOSIS**

*Mycoplasma synoviae* causa el síndrome de anomalía del ápice de la cáscara del huevo, caracterizado por una superficie de la cáscara alterada con mayor translucidez en el ápice, lo que provoca una caída significativa en la resistencia de la cáscara del huevo, su rotura y una disminución general de la producción que puede causar pérdidas económicas considerables en la industria avícola. Se sabe que causa trastornos respiratorios, sinovitis y una reducción de la tasa reproductiva. Los estudios han encontrado que la calidad de la cáscara, incluido el peso del huevo, la translucidez y la reflectividad de la cáscara, cambian por la infección de *M. synoviae* (Kursa et al., 2019; Cisneros-Tamayo et al., 2020).



**Figura 21:** Huevos con micoplasma. Fuente: Cortesía de Raúl Rodríguez.

## C. OSTEOPOROSIS Y FRACTURAS DE HUESOS

El aumento de la producción de huevos conlleva un coste considerable para la fisiología de la gallina. Las aves silvestres forman temporalmente tejido óseo medular antes del inicio de la puesta, como reserva móvil de calcio para la formación de la cáscara. Este se reabsorbe una vez finalizada la puesta y así restauran sus reservas de calcio. Por el contrario, las gallinas modernas no dejan de producir huevos durante el período de producción. Como resultado, están agotando continuamente el calcio de sus huesos, ya que no todo el calcio necesario para la formación de la cáscara del huevo puede extraerse de la dieta (Sandilands, 2011).

La osteoporosis se define como una deficiencia local o sistémica en la cantidad de hueso estructural completamente mineralizado y se ha descrito histológicamente como una reducción en el volumen de hueso estructural esponjoso y cortical dentro del esqueleto. Esto es evidente alrededor de las 40 a 45 semanas de edad. El crecimiento de la gallina ponedora, las reservas esqueléticas iniciales, la ingesta de alimento y la producción de huevos, podrían influir profundamente en la capacidad de las aves para mantener su integridad esquelética durante la producción sostenida de huevos (Cransberg et al., 2001).

Alfonso-Carrillo et al. (2021) mostraron que las gallinas ponedoras con baja producción de huevos y mala calidad de la cáscara tienen mejor calidad ósea (mayor resistencia a la rotura y mayor cantidad de hueso medular) debido a una menor resorción mineral ósea. Sin embargo, no se pudo encontrar una relación clara entre la calidad de los huesos y los parámetros de producción de huevos/calidad de la cáscara del huevo, lo que sugiere que los rasgos de calidad de los huesos y los huevos se pueden mejorar de forma independiente mediante la selección genética y una nutrición óptima. Por todo lo mencionado, las gallinas necesitan desarrollar suficiente hueso medular a temprana edad para mantener las reservas de calcio y la integridad esquelética durante períodos más prolongados de producción de huevos.

### **3.5. HIGIENE Y SEGURIDAD ALIMENTARIA**

#### **A. CONTAMINACIÓN DEL HUEVO**

Pese a sus mecanismos de defensa, se observan diferentes tipos de contaminación:

La endógena o contaminación vertical, que ocurre durante la formación de huevos en el oviducto u ovario de gallinas infectadas y se atribuye principalmente a *Salmonella spp.*. Y la exógena o contaminación horizontal, que es la contaminación de la cáscara del huevo después de que los huevos son puestos y han entrado en contacto con la materia fecal de la gallina. Es más frecuente que la contaminación endógena y también resulta de especies bacterianas presentes en el ambiente de la granja o durante el transporte a través de la cadena de suministro (Eddin et al., 2019).

#### **B. ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR LOS HUEVOS A LOS HUMANOS**

Las bacterias más importantes en las enfermedades transmitidas por los alimentos asociadas al consumo de huevos de mesa son *Salmonella spp.*, *Campylobacter spp.*, *Listeria spp.*, *Staphylococcus spp.* y *Escherichia spp.* La materia fecal, el suelo y el polvo son las principales fuentes de contaminación a las que están expuestos los huevos (Hester, 2017).

#### **C. CLASIFICACIÓN DE LOS HUEVOS**

La evaluación de la calidad del huevo es esencial para clasificar los huevos. Se establecen requisitos de calidad para los huevos de mesa con el fin de asegurar su seguridad para los consumidores. Al clasificar los huevos, se determinan factores como la calidad interior, el peso, la limpieza y la integridad de la cáscara (Eddin et al., 2019). Según el Reglamento Delegado (UE) 2023/2465 sobre la comercialización de los huevos, establece la clasificación de los huevos en: categoría "A", huevos limpios y sin grietas, y "B", huevo sucio que puede ser destinado para la industria o no apto para el consumo humano.

#### D. SISTEMAS DE ALOJAMIENTO

En el huevo debe ir marcado con su código correspondiente y el primer dígito indica el sistema de producción siguiendo la normativa europea:

- Código 0: Huevos ecológicos.
- Código 1: Huevos de gallinas camperas.
- Código 2: Huevos de gallinas sueltas en el gallinero.
- Código 3: Huevos de gallinas criadas en jaulas acondicionadas.

Seguidamente se indica el país de producción, que en el caso de España es "ES", la provincia, el municipio y el número identificativo de la granja.

#### 4. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

La calidad de la cáscara del huevo disminuye al extenderse los ciclos de puesta de las gallinas y está íntimamente relacionada con diferentes factores como la genética, el manejo y la nutrición de la gallina. Para asegurar una rentabilidad económica a los productores, evitar pérdidas financieras y disminuir la preocupación por la seguridad alimentaria por parte de los consumidores, es crucial una cáscara de huevo firme. Por lo tanto, reducir las cáscaras de huevo defectuosas y aumentar la cantidad de huevos vendibles es fundamental para la producción avícola y para asegurar la mejor calidad del producto al consumidor.

Los objetivos planteados en este TFG son:

- Comparar la resistencia de la cáscara y el peso de los huevos en función de la edad de dos estirpes de gallinas comerciales de huevo marrón criadas en las mismas condiciones.
- Comprobar si las diferentes tallas del huevo se relacionan con la resistencia del huevo.
- Comprobar la evolución en el tiempo de la resistencia de la cáscara del huevo.

#### 5. METODOLOGÍA

##### 5.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Para este trabajo, se realizó una búsqueda bibliográfica de artículos, libros, revistas científicas y de divulgación sobre la calidad de la cáscara a través de buscadores como PubMed, Dialnet, ScienceDirect, Scopus, Scielo y ResearchGate así como en bases de datos de la Universidad de Zaragoza como Zaguán. En este caso, PubMed ha sido el buscador más empleado. Para encontrar artículos y publicaciones se utilizaron palabras clave tanto en español como en inglés, por ejemplo: calidad de la cáscara / *eggshell quality*, *laying hens*, *egg shell*, *brown egg*, *nutrition laying hens*... Posteriormente, el material encontrado fue examinado y estudiado, realizando una revisión bibliográfica de los últimos 20 años, valorando las actualizaciones más recientes.

## 5.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

### A. ANIMALES

Este TFG obtuvo el informe favorable de la Comisión Ética Asesora para la Experimentación Animal de la Universidad de Zaragoza referencia PD16/23 NE.

Las gallinas del presente estudio se encontraban en la Granja San Miguel, ubicada en la provincia de Zaragoza y en el municipio de Mainar. Las condiciones de alojamiento de estas aves de código 3 eran en una nave de baterías de marca Facco, de 10 pisos de altura, separadas por un tramer metálico intermedio que delimitaba en los pisos de arriba la Estirpe B y en el de abajo la Estirpe A (5 pisos + 5 pisos). Lo más relevante para este estudio es que las gallinas estuvieran en las mismas condiciones de alojamiento, ambiente y nutrición para poder comparar ambas estirpes. Cabe destacar que también se encontraron en las mismas condiciones durante la recria. Las aves procedían de dos incubadoras diferentes y, por ello, analizamos las diferencias entre las dos estirpes (A) y (B). Genéticamente ambas son gallinas semipesadas de huevo moreno y tenían una edad de 26 semanas al inicio del estudio.

### B. CAMBIOS EN LA ALIMENTACIÓN

Respecto a los cambios de pienso, desde el 1 de marzo de 2023 hasta el 31 del mismo mes estuvieron con el pienso Start 30. Después se les cambió a Start 34 hasta el 23 de mayo de 2023 que cambiaron al pienso de Fase 1 y mantuvieron hasta el 19 de diciembre de 2023. A partir de dicha fecha han estado con el pienso de Fase 2 hasta el día de hoy.

**Tabla 1:** Diferencias entre los cambios de pienso de las gallinas del presente estudio.

COMPONENTE	Start 34	Fase 1	Fase 2
Cenizas	11,7 %	12.4 %	13.3 %
Proteína bruta	17.1 %	17 %	17 %
Materia grasa	5.5 %	5.5 %	<b>5.4 %</b>
Fibra bruta	4.7 %	5.3 %	5.17 %
Calcio	3.4 %	3.8 %	4.2 %
Lisina	0.84 %	0.71 %	0.71 %
Fósforo	0.55 %	0.53 %	0.5 %
Metionina.	0.52 %	0.46 %	0.46 %
Sodio	0.16 %	0.14 %	0.14 %
Vit. A	9999 IE/Kg	10.000 IE/Kg	10000 IE/Kg
Vit. D3	2505 IE/Kg	2505 IE/Kg	2505 IE/Kg
Vit. E	25 IE/Kg	25 IE/Kg	25 IE/Kg
Hierro		50 mg/Kg	
Cobre		5.00 mg/Kg	
Sulfato de cobre pentahidratado		10 mg/Kg	
Manganeso		100 mg/Kg	
Cinc		25 mg/Kg	
Sulfato de cinc monohidratado		45 mg/Kg	
Yodo		1.5 mg/Kg	
Selenito		0.3 mg/Kg	
Fitasa		300 FTU/Kg	
Xilanasa		1,500 EPU/Kg	

### C. HUEVOS

Se recogieron huevos de ambas estirpes en 9 muestreros, separados 5 semanas cada uno. En la primera toma se recogieron 60 huevos por estirpe y, en las demás tomas, se analizaron 90 huevos por estirpe. En total fueron 1556 huevos morenos de código 3 (indica su tipo de alojamiento), 775 por estirpe. Los huevos se llevaron en cartones de 30 huevos a las instalaciones de la Facultad de Veterinaria de Zaragoza para su medición.

### D. MEDICIONES

Los parámetros que se midieron para valorar la calidad de la cáscara fueron el peso del huevo (g), obtenido mediante una báscula de una precisión de tres decimales, y la medición de la dureza con un micrómetro BRÖRING “Fast-Egg-Shell-Tester”. El aparato mide la resistencia a la rotura de la cáscara en Newtons mediante compresión cuasiestática, siguiendo el siguiente mecanismo: el huevo se comprime en condiciones controladas hasta que la cáscara se agrieta o se rompe y se registra la fuerza mínima requerida para provocarlo. De cada toma de datos se obtuvo un peso medio del huevo (PMH) y una resistencia media por estirpe.



Figura 22: Aparato empleado para la medición de la resistencia de la cáscara: BRÖRING “Fast-Egg-Shell-Tester”.

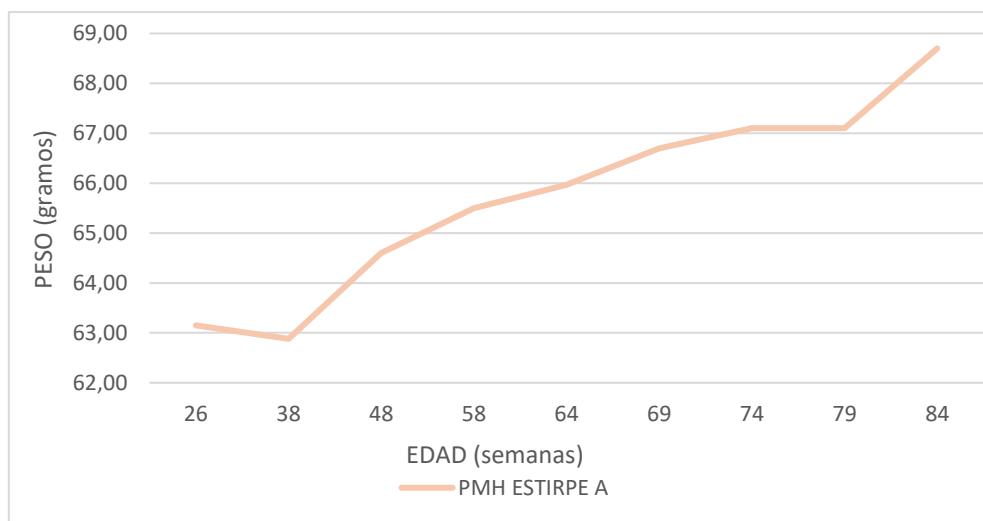
Fuente: realización propia

### E. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos se recogieron en una tabla Excel. Posteriormente se analizaron mediante el paquete estadístico SPSS v26.0 (IBM; EEUU). En primer lugar, se comprobó que los datos seguían una distribución normal evaluada mediante un test de Kolmogorov-Smirnov. Las comparaciones no pareadas se hicieron con una t de Student, y cuando fueron de tres variables cuantitativas (tamaño de huevo M, L, XL), la comparación se hizo con un ANOVA seguido de un test múltiple de Duncan como prueba *post-hoc*. Para comprobar si había una correlación entre el peso del huevo y la resistencia, se hizo un análisis de regresión simple. Un valor de  $P \leq 0,05$  se consideró estadísticamente significativo.

## 6. RESULTADOS

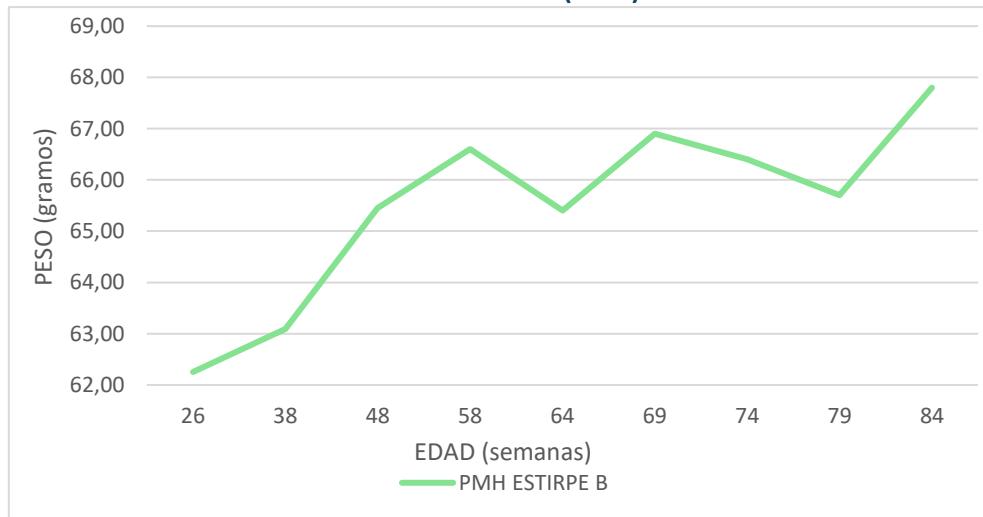
### 6.1. EVOLUCIÓN DEL PESO MEDIO DEL HUEVO (PMH) EN LA ESTIRPE A



Gráfica 1: Evolución del peso en la Estirpe A.

En la Gráfica 1 se puede observar el aumento del peso medio del huevo (PMH) a medida que avanza la edad de la gallina, aunque en la semana 38 hubo una disminución. La primera toma fue a las 26 semanas de edad y se obtuvo un PMH de 63,15g. En este estudio la Estirpe A aumentó 5,55 g desde la semana 26 a la 84.

### 6.2. EVOLUCIÓN DEL PESO MEDIO DEL HUEVO (PMH) EN LA ESTIRPE B



Gráfica 2: Evolución del peso en la Estirpe B.

En la Gráfica 2 también observamos un aumento del PMH con el paso de las semanas pero de una forma mucho más irregular que en la Estirpe A, ya que en la semana 58 hubo una disminución en el PMH y también posteriormente en la semana 74. La diferencia de peso en la Estirpe B desde la semana 26 a la 84 fue de 5,74g.

### 6.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PMH EN AMBAS ESTIRPES

**Tabla 2:** Resultados del peso (g) en dos estirpes de gallinas desde la semana 26 a la 84.

EDAD (semanas)	ESTIRPE A (g)	ESTIRPE B (g)	P value
26	63,15±4,3	62,25±3,97	<b>0,014</b>
38	62,88±4,03	63,09±4,5	0,741
48	64,6±5,4	65,45±4,81	0,262
58	65,54±5,02	66,57±4,8	0,168
64	65,97±5,14	65,4±5,11	0,457
69	66,73±4,6	66,89±5,2	0,835
74	67,06±5,7	66,4±4,4	0,388
79	67,14±5,0	65,72±4,5	<b>0,049</b>
84	68,7±5,8	67,99±5,9	0,416

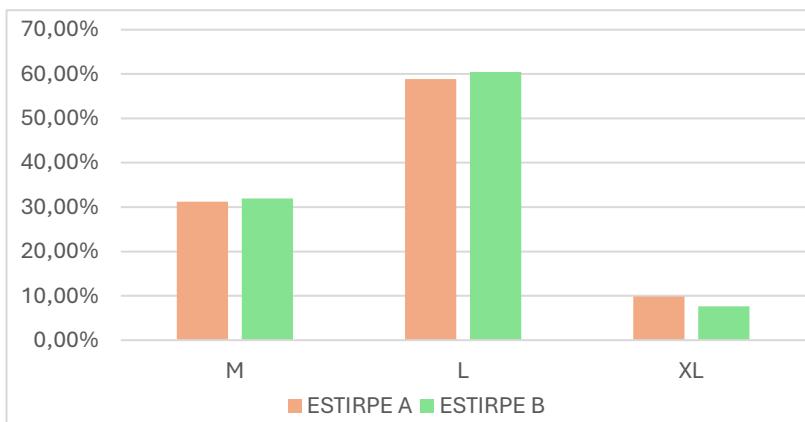
En la Tabla 2 podemos observar que en la toma de las 26 semanas se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas teniendo la Estirpe A 0,1 g más de PMH. Posteriormente el PMH de la Estirpe B fue superior desde la semana 38 hasta la 58 pero no se presentaron diferencias significativas. En la semana 64 la Estirpe A tuvo un PMH superior, al contrario que en la semana 69, en la que la Estirpe B la superó. A partir de la semana 74 la Estirpe A obtuvo PMHs superiores hasta la semana 84, siendo a las 79 semanas el peso de la Estirpe A 1,4 g mayor a la Estirpe B y presentando diferencias significativas. En cambio, en la toma de la semana 84 la diferencia de 0,7 g más de peso de la Estirpe A respecto a la B no fue significativa.

**Tabla 3:** Resultados globales del peso (g) en dos estirpes de gallinas durante todo el estudio.

ESTIRPE	N	GLOBAL	P value
A	775	65,85±5,2	0,288
B	776	65,57±5,2	

En la Tabla 3 podemos observar que tomando todos los datos en conjunto no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el peso de los huevos entre estirpes ( $P = 0,288$ ).

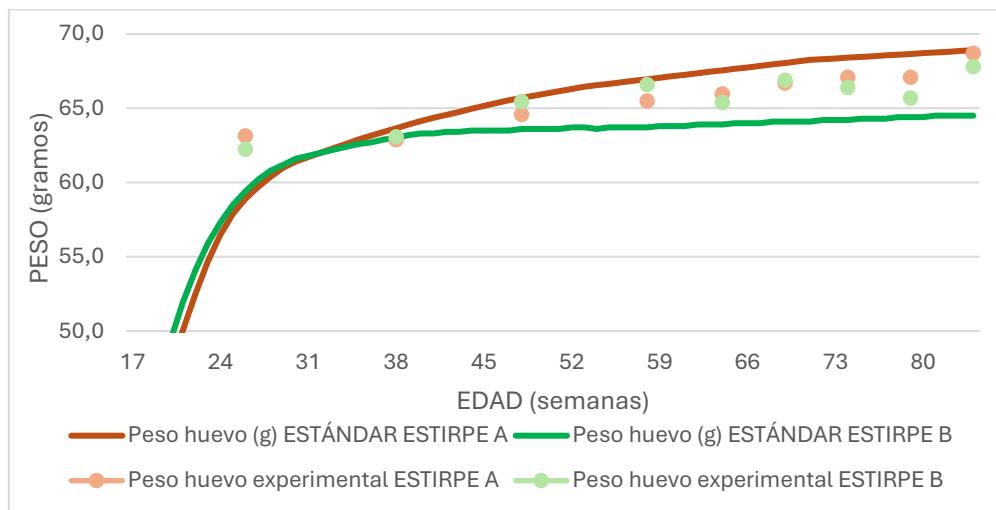
### 6.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PESO DEL HUEVO POR TALLAS COMERCIALES



**Gráfica 3:** Clasificación de peso por tallas comerciales del huevo en cada estirpe.

En la Gráfica 3 podemos observar que, como se ha comentado en el anterior punto, no se encontraron diferencias entre la estirpe A y la B en cuanto a las tallas comerciales, ya que están íntimamente relacionadas con el PMH. Cabe destacar que la Estirpe A tuvo un 2,31% más de huevos XL que la Estirpe B y que la Estirpe B presentó un mayor número de las tallas M y L respecto a la Estirpe A.

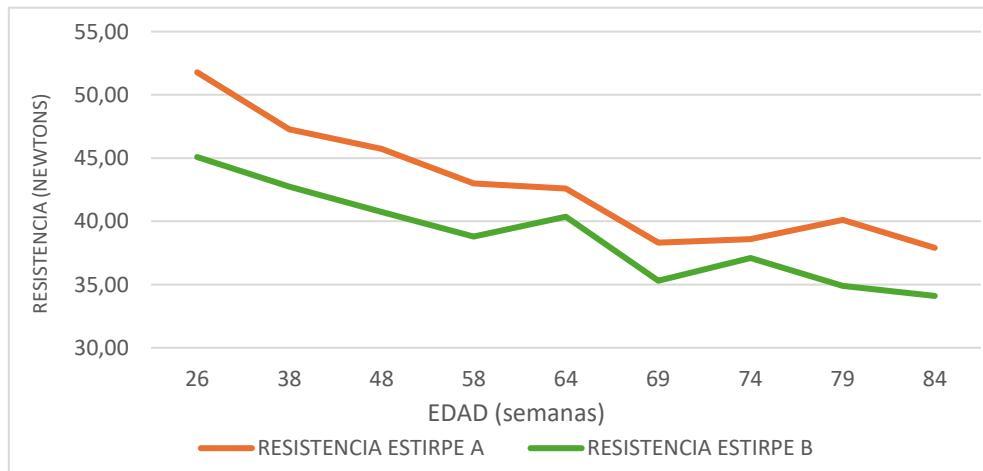
#### 6.5. COMPARACIÓN DEL PMH CON EL ESTÁNDAR DE CADA ESTIRPE COMERCIAL



Gráfica 4: Evolución del peso en comparación con el estándar por estirpe.

En la Gráfica 4 podemos observar como el PMH de la Estirpe B en este estudio está por encima del estándar y por el contrario, la Estirpe A está por debajo. Además, el PMH estándar de la estirpe A es superior al de la estirpe B.

#### 6.6. EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA DEL HUEVO EN AMBAS ESTIRPES



Gráfica 5: Evolución de la resistencia del huevo (Newtons) en dos estirpes de gallinas.

En la Gráfica 5 podemos observar una disminución en la resistencia del huevo con el avance de la edad de la gallina hasta estabilizarse en torno a 35-38 Newtons. La Estirpe A presenta una mayor resistencia durante todo el estudio.

## 6.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA RESISTENCIA DEL HUEVO EN AMBAS ESTIRPES

**Tabla 4:** Resultados de la resistencia del huevo (Newtons) en dos estirpes de gallinas desde la semana 26 a la 84.

EDAD (semanas)	ESTIRPE A	ESTIRPE B	P value
26	51,78±6,92	45,08±8,95	0,000
38	47,28±7,4	42,73±8,71	0,000
48	45,72±10,76	40,73±7,9	0,000
58	42,98±11,1	38,75±8,08	0,004
64	42,59±10,76	40,35±8,85	0,133
69	38,3±9,3	35,26±8,9	0,027
74	38,6±10,8	37,07±9	0,291
79	40,09±9,99	34,91±9,97	0,000
84	37,97±10,9	34,4±9,54	0,021

Para la resistencia del huevo sí que se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0,05$ ) entre las dos estirpes desde la toma de las semanas 26 a la 58, siendo la Estirpe A la que tiene mayor resistencia. En la semana 64, no se encuentran diferencias estadísticamente significativas ( $P= 0,133$ ). Por el contrario, en la semana 69 sí aparecen, siendo mayor en las gallinas de la Estirpe A. Hay que tener en cuenta que, en esta estirpe, no se pudo medir la resistencia de dos huevos por ser demasiado débiles y se rompieron.

Cabe mencionar que en la tercera semana de enero de 2024 se trata con Tilosina durante 5 días a las dos estirpes, puesto que se detecta un brote de *Mycoplasma synoviae* que afectó a ambas.

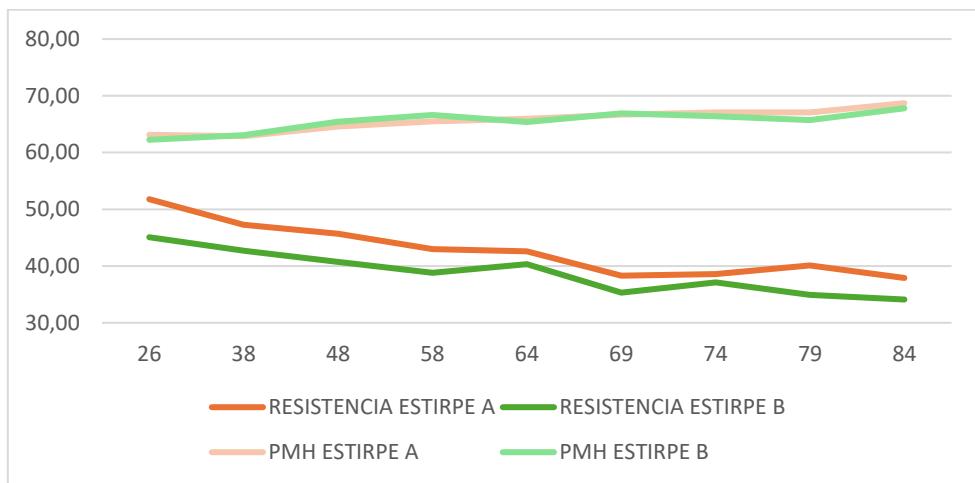
En la toma de la semana 74 no se encontraron diferencias significativas. De hecho, la resistencia del huevo es muy similar a la de la toma 69. Por otro lado, en la semana 79 se volvieron a encontrar diferencias significativas, siendo la Estirpe A 5,17 Newtons más resistente que la Estirpe B. Además, la resistencia de la Estirpe B ha bajado respecto a la toma anterior (semana 74); en cambio, la resistencia de la Estirpe A aumentó. En la toma de la semana 84 y última de este estudio volvemos a encontrar una diferencia significativa de la resistencia de la cáscara. La Estirpe A es superior a la B nuevamente.

**Tabla 5:** Resultados globales de la resistencia del huevo (Newtons) en dos estirpes de gallinas en todo el estudio.

ESTIRPE	N	GLOBAL	P value
A	772	42,5±10,7	0,000
B	771	38,62±9,4	

En la Tabla 5 podemos observar que el valor de  $P$  para la resistencia tomando los datos en global con una muestra de  $n= 1556$  huevos, demuestra una diferencia significativa de mayor resistencia en la Estirpe A respecto a la Estirpe B.

## 6.8. COMPARACIÓN DE LA EVOLUCIÓN DEL PESO Y LA RESISTENCIA



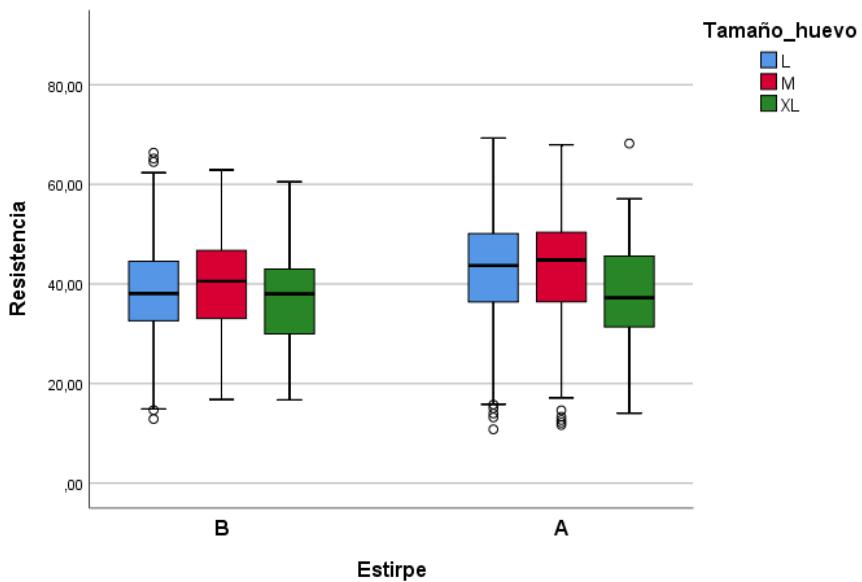
**Gráfica 6:** Evolución de la resistencia del huevo (Newtons) y el PMH (g) en dos estirpes de gallinas.

La Gráfica 6 muestra como el PMH aumenta con la edad de la gallina, alcanzando un máximo a las 84 semanas. Sin embargo, en la evolución de la resistencia podemos observar una disminución en el tiempo.

## 6.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA RESISTENCIA POR TALLAS COMERCIALES

**Tabla 6:** Resultados de la resistencia del huevo (Newtons) en dos estirpes de gallinas según la talla comercial.

ESTIRPE	TALLA COMERCIAL		
	M	L	XL
A	43,498	42,638	38,158
B	40,104	38,158	36,825
P value	0,284	0,000	0,000



**Figura 23:** Diagrama de caja de la resistencia de la cáscara del huevo (Newtons) en dos estirpes de gallinas y de acuerdo con el tamaño del huevo. La línea horizontal es la mediana, la caja indica los percentiles 75% y 25%, los bigotes percentiles 90% y 10% y los círculos valores fuera de rango.

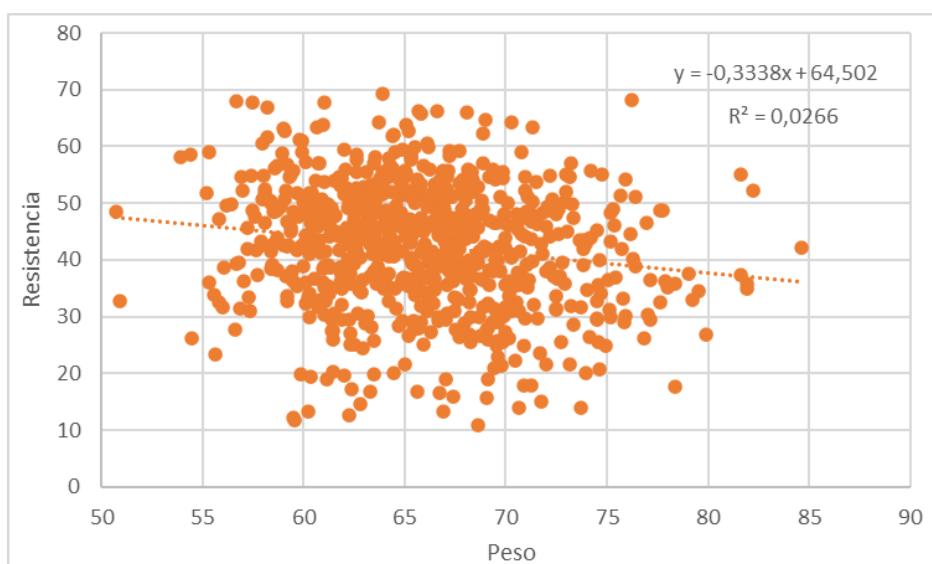
En la Tabla 6 y la Figura 23 se compara la resistencia entre la Estirpe A y la Estirpe B teniendo en cuenta las tallas comerciales. Para la talla M no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas para la resistencia entre la Estirpe A y la B, al contrario que en las tallas L y XL en las que los resultados sí son significativos teniendo la Estirpe A una mayor resistencia en ambas tallas.

**Tabla 7:** Análisis ANOVA entre las tallas de huevo y su resistencia (Newtons). Se muestra la comparación por parejas y la interacción tamaño huevo x estirpe.

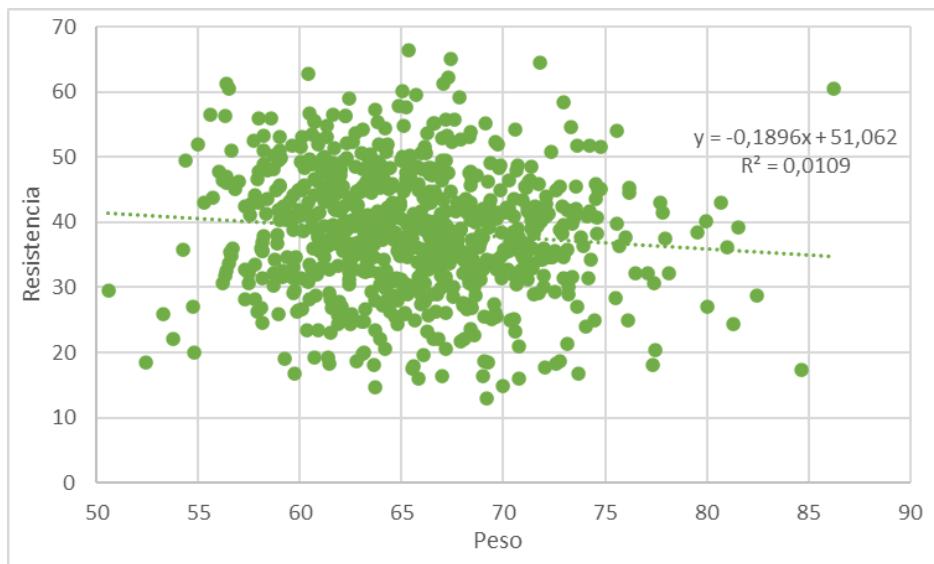
RESISTENCIA		RESISTENCIA	
TALLAS	P value		P value
M – L	0,013	TAMAÑO HUEVO	0,000
L – XL	0,006	ESTIRPE	0,000
M – XL	0,000	TAMAÑO HUEVO X ESTIRPE	0,283

En la Tabla 7 observamos unas diferencias estadísticamente significativas para la resistencia comparando tallas comerciales. Se obtuvieron variaciones en la resistencia según el tamaño del huevo, indicando que a mayor tamaño de huevo menor resistencia. Además, como mencionamos anteriormente, para la resistencia comparando las estirpes presentan resultados significativos, al contrario que la resistencia del tamaño de huevo según la estirpe, en la que no se encontró relación.

Se realizó un análisis de regresión para comprobar la relación entre resistencia y peso del huevo en el que se observa una regresión negativa en ambas estirpes y una falta de relación entre el peso y la resistencia debido a la alta variabilidad genética dentro de cada estirpe comercial. (Gráfica 7 y 8).



**Gráfica 7:** Nube de puntos del análisis de regresión entre resistencia y peso del huevo en la Estirpe A.



**Gráfica 8:** Nube de puntos del análisis de regresión entre resistencia y peso del huevo en la Estirpe B.

## 7. DISCUSIÓN

El peso del huevo aumentó con la edad de las gallinas, alcanzando un máximo a las 84 semanas. Por otro lado, la resistencia de la cáscara del huevo disminuyó con el envejecimiento de las gallinas causado por el desgaste fisiológico de la puesta de las aves. Ambos cambios concuerdan con lo indicado en la literatura científica (Bain et al., 2016). La disminución de la resistencia en la semana 58 en ambas estirpes podría ser causada por *Mycoplasma synoviae*, ya que posterior al tratamiento con Tilosina, antibiótico macrólido indicado en el tratamiento de esta infección, la resistencia se recuperó.

La principal causa de la diferencia en la resistencia entre estirpes en el presente estudio se puede atribuir a la genética (El-Salam et al. 2022), ya que ambas estirpes se encontraban en las mismas condiciones de alojamiento, ambiente y alimentación.

Según Wolc et al. (2012), los caracteres relacionados con los defectos del huevo tienen una heredabilidad de entre 0,1-0,2 y, para que la selección sea más eficiente y mejorarlos, y se debe incluir la tasa de producción de huevos vendibles y los rasgos de calidad del huevo.

En la calidad de la cáscara del huevo influyen caracteres como la persistencia en la puesta y la calidad ósea. Sin embargo, según Dunn et al. (2021), no se ha encontrado una correlación genética entre ambas cualidades, lo que sugiere que la selección para una mayor persistencia de la producción de huevos puede no afectar negativamente la calidad ósea, al contrario de lo que se suponía. A su vez, el manejo en la granja, el alojamiento y la nutrición óptima, tienen una mayor relevancia a la hora de mejorar la calidad y el bienestar óseo.

Por otro lado, hay múltiples genes específicos que están relacionados con la mineralización de la cáscara y, en algunos, su expresión está íntimamente vinculados con la producción de las proteínas en el proceso de formación de la cáscara. Esto es un proceso importante, ya que influye en los mecanismos de defensa del huevo y, por ende, en la calidad de este (Gautron et al., 2021). Lo que hace variar las expresiones de los genes es la combinación de éstos utilizada por los genetistas y sus diferentes criterios de selección (Bain et al., 2016). Teniendo todo esto en cuenta, la selección y las estrategias de manejo, además de prestar atención a la edad en la que empieza la puesta en los programas de reproducción, son claves para una mejora en la producción, así como en la calidad de la cáscara.

A las 24 semanas la producción de huevos se encuentra en el arranque y ambas estirpes presentaron un mayor PMH que el esperado según el estándar, pero la Estirpe A presentó un mayor peso en la primera fase del ciclo de puesta, con diferencias significativas con la Estirpe B para esa toma de muestras. Esto hará que haya más huevos de mayor tamaño antes e influye directamente en el número de huevos vendibles (tallas M, L y XL) por estirpe, una característica de gran importancia para los productores ya que está relacionada con la rentabilidad económica de los mismos.

## 8. CONCLUSIONES

- El peso del huevo fue incrementándose con la edad de las gallinas hasta alcanzar un máximo en la semana 84 de vida y no se observaron diferencias significativas en el peso del huevo entre las dos estirpes (A y B) en el conjunto del estudio.
- La distribución de tamaños de huevo está íntimamente relacionada con el PMH. La Estirpe A tiende a poner más huevos de tamaño XL en comparación con la Estirpe B y la Estirpe B pone más huevos de tamaño M y L que la Estirpe A.
- La resistencia a la rotura del huevo (medida en Newtons) disminuyó conforme avanzaba la edad de las aves, siendo mayor la estirpe A que en la estirpe B.
- La Estirpe A fue más favorable para la producción de huevos más grandes y resistentes.
- La relación entre el peso y la resistencia del huevo en ambas estirpes fue ligeramente negativa, probablemente debido a la alta variabilidad genética.
- La disminución de la resistencia en la semana 58 en ambas estirpes estuvo causada por la infección por *Mycoplasma synoviae*, y el tratamiento posterior con Tilosina recuperó la resistencia a la rotura del huevo en las dos estirpes de estudio.
- En ninguna de las estirpes se ajusta el peso de huevo real obtenido en la prueba, al peso de huevo del estándar proporcionado por ambas empresas de genética.

## 9. CONCLUSIONS

- The egg weight increased with the hens' age, reaching a maximum at 84 weeks of life, and no significant differences in egg weight were observed between the two strains (A and B) throughout the study.
- Egg size distribution is closely related to egg weight. Strain A tends to lay more XL-sized eggs compared to Strain B, and Strain B lays more M and L-sized eggs than Strain A.
- Eggshell strength (measured in Newtons) decreased as the birds aged. Throughout the study, egg strength in Strain A was higher than in Strain B.
- Strain A is more favorable for the production of larger and stronger eggs.
- The relationship between egg weight and strength in both strains was slightly negative, likely due to high genetic variability.
- The decrease in strength at week 58 in both strains could be caused by *Mycoplasma synoviae* infection, as egg strength recovered following treatment with Tylosin.
- In neither strain did the actual egg weight obtained in the test match the egg weight standard provided by both genetics companies.

## **10. VALORACIÓN PERSONAL**

Este trabajo me ha permitido profundizar en la rama de la veterinaria que más me gusta, la avicultura. En estas páginas quedan reflejadas las horas dedicadas a la elaboración del trabajo, siendo una gran fuente de formación y evolución como estudiante.

Gracias a la realización de este trabajo, he podido apreciar la importancia del estudio de la calidad de la cáscara y valorar a los responsables de la industria, ya que desempeñan un papel importante para la salud pública y en la transmisión de enfermedades zoonóticas a través del huevo, además valorar la importancia de la investigación para un mejor rendimiento en las producciones y en la calidad, aprender sobre la metodología para determinar la calidad de la cáscara, su análisis estadístico y posterior interpretación.

Así mismo, a lo largo del proceso, he desarrollado mis habilidades para la investigación y selección de información dentro de diversos motores de búsqueda y gestores bibliográficos, he perfeccionado mi capacidad de manejo de Excel y Word y he mejorado mi destreza a la hora de redactar este documento.

Me gustaría agradecer a mis tutores Antonio y Diego por la oportunidad de realizar este trabajo. Hemos creado un ambiente de trabajo muy enriquecedor y me han ofrecido consejo y ayuda en todo momento. He adquirido nuevos conocimientos que estoy segura de que en un futuro me beneficiarán. Además, a la Granja San Miguel por proveer toda la materia prima para la realización de este estudio y mi familia y compañeros, por el apoyo durante toda esta etapa.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

- Alfonso-Carrillo, C., Benavides-Reyes, C., de Los Mozos, J., Dominguez-Gasca, N., Sanchez-Rodríguez, E., Garcia-Ruiz, A.I. & Rodriguez-Navarro, A.B. (2021). Relationship between Bone Quality, Egg Production and Eggshell Quality in Laying Hens at the End of an Extended Production Cycle (105 Weeks). *Animals (Basel)*, 11(3), nº 623. Note that from the first issue of 2016, this journal uses article numbers instead of page numbers. DOI: [10.3390/ani11030623](https://doi.org/10.3390/ani11030623)
- Alltech Digital Marketing. (2018). 20 common egg shell quality problems. Recuperado de <https://store.alltech.com/blogs/poultry/20-common-egg-shell-quality-problems-and-causes>
- Altan, A., Altan, Ö., Özkan, S., Açıkgöz, Z. & Özkan, K. (2000). Effects of dietary sodium bicarbonate on egg production and egg quality of laying hens during high summer temperature. *European Poultry Science (EPS), Archiv für Geflügelkunde*, 64(6), 269-272. [https://www.european-poultry-science.com/artikel.dll/2000-64-269-272\\_gq4tomjrg4za.pdf](https://www.european-poultry-science.com/artikel.dll/2000-64-269-272_gq4tomjrg4za.pdf)
- Avinews. (2024). El huevo, líder en aumento de consumo en los hogares españoles: +8% en 2023. Recuperado de: <https://avinews.com/el-huevo-lider-en-aumento-de-consumo-en-los-hogares-espanoles-8-en-2023/>
- Bain, M. M., Nys, Y. & Dunn, I.C. (2016). Increasing persistency in lay and stabilising egg quality in longer laying cycles. What are the challenges? *British Poultry Science*, 57(3), 330-338. DOI: [10.1080/00071668.2016.1161727](https://doi.org/10.1080/00071668.2016.1161727)
- Bi, J., Deng, G., Dong, J., Kong, F., Li, X., Xu, Q., Zhang, M., Zhao, L. & Qiao, J. (2018). Phylogenetic and Molecular Characterization of H9N2 Influenza Isolates from Chickens in Northern China from 2007-2009". *Plos One*, 5(9). DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013063>
- BOE: Reglamento Delegado (UE) 2023/2465 de la Comisión de 17 de agosto de 2023 por el que se completa el Reglamento (UE) nº 1308/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que se refiere a las normas de comercialización de los huevos y por el que se deroga el Reglamento (CE) n.o 589/2008 de la Comisión. Recuperado de <https://www.boe.es/doue/2023/2465/L00001-00017.pdf>
- Chen, X., Li, X., He, Z., Hou, Z., Xu, G., Yang, N., et al. (2019). Comparative study of eggshell antibacterial effectivity in precocial and altricial birds using Escherichia coli. *PLoS One*. 14(7) DOI: [10.1371/journal.pone.0220054](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220054)
- Cheng, X. & Ning, Z. (2023). Research progress on bird eggshell quality defects: a review. *Poultry Science*, 102(1). DOI: [10.1016/j.psj.2022.102283](https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102283)

- Chousalkar, K. K. & Roberts, J. R. (2007). Ultrastructural Observations on Effects of Infectious Bronchitis Virus in Eggshell-Forming Regions of the Oviduct of the Commercial Laying Hen. *Poultry Science*, 86(9), 1915-1919. DOI: <https://doi.org/10.1093/ps/86.9.1915>
- Cisneros-Tamayo, M., Kempf, I., Coton, J., Michel, V., Bougeard, S., de Boisséson, C., Lucas, P., Bäyon-Auboyer, M.H., Chiron, G., Mindus, C. & Gautier-Bouchardon, A.V. (2020). Investigation on eggshell apex abnormality (EAA) syndrome in France: isolation of *Mycoplasma synoviae* is frequently associated with *Mycoplasma pullorum*. *BMC Veterinary Research*, 16(1). DOI: [10.1186/s12917-020-02487-0](https://doi.org/10.1186/s12917-020-02487-0)
- Cransberg, P.H., Parkinson, G.B., Wilson, S. & Thorp, B.H. (2001). Sequential studies of skeletal calcium reserves and structural bone volume in a commercial layer flock. *British Poultry Science*, 42(2), 260-265. DOI: [10.1080/00071660120048528](https://doi.org/10.1080/00071660120048528)
- Dinev, I. (2011). *Enfermedades de las aves, atlas a color*. Stara Zagora, Bulgaria: Ceva. Recuperado de [https://www.academia.edu/42201024/Enfermedades\\_de\\_las\\_Aves\\_ATLAS\\_A\\_COLOR](https://www.academia.edu/42201024/Enfermedades_de_las_Aves_ATLAS_A_COLOR)
- Djokić, N., Suvajdžić, B., Vičić, I., Grković, N., Karabasil, N. & N. Čobanović. (2023). Quality of table eggs in relation to shell colour. *Veterinarska stanica*, 54(2), 171-184. DOI: <https://doi.org/10.46419/vs.54.2.5>
- Dunkley, C. S. (2022). A Dozen Egg Abnormalities how they affect egg quality. *Status and Revision History*. Extension Poultry Scientist. University of Georgia Poultry Science Department. Recuperado de <https://extension.uga.edu/publications/detail.html?number=C1255&title=a-dozen-egg-abnormalities-how-they-affect-egg-quality>
- Eddin, A. S., Ibrahim, S.A. & Tahergorabi, R. (2019). Egg quality and safety with an overview of edible coating application for egg preservation. *Food Chemistry*, 296, 29-39. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.182>
- El-Salam A.A., Hamouda, Y., El-safty, S., El-attar, A. (2022). Genetic differences in egg quality traits between w-36 and brown breeder strains. *Adv. Anim. Vet. Sci.* 10(8):1827-1833. DOI: <https://dx.doi.org/10.17582/journal.aavs/2022/10.8.1827.1833>
- FAO. (2023). World Food And Agriculture - Statistical Yearbook. Rome. Recuperado de <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/28cf24e-81a9-4ebc-b2b5-4095fe5b1dab/content/cc8166en.html>
- FAO. (2013). Revisión Del Desarrollo Avícola. Recuperado de <https://www.fao.org/4/i3531s/i3531s.pdf>

- Gautron, J., Stapane, L., Le Roy, N., Nys, Y., Rodriguez-Navarro, A.B. & Hincke, M.T. (2021). Avian eggshell biomineralization: an update on its structure, mineralogy and protein tool kit. *BMC Molecular and Cell Biology*. 22(11). DOI: [10.1186/s12860-021-00350-0](https://doi.org/10.1186/s12860-021-00350-0)
- Hassan, M.S.H., Najimudeen, S.M., Ali, A., Altakrouni, D., Goldsmith, D., Coffin, C.S., Cork, S.C., van der Meer, F. & Abdul-Careem, M.F., (2022). Immunopathogenesis of the Canadian Delmarva (DMV/1639) infectious bronchitis virus (IBV): Impact on the reproductive tract in layers. *Microbial Pathogenesis*. 166. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2022.105513>
- Hester, P. (2017). *Egg Innovations and Strategies for Improvements*. Cambridge, MA, USA: Elsevier Science & Technology. Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/zaragoza/reader.action?docID=4772385>
- Hincke, M.T., Nys, Y., Gautron, J., Mann, K., Rodriguez-Navarro, A.B. & McKee, M.D. (2012). The eggshell: structure, composition and mineralization. *Frontiers in Bioscience-Landmark*. 17(4), 1266-1280. DOI: [10.2741/3985](https://doi.org/10.2741/3985)
- Khogali, M.K., Wen, K., Jauregui, D., Liu, L., Zhao, M., Gong, D. & Geng, T. (2021). Uterine structure and function contributes to the formation of the sandpaper-shelled eggs in laying hens. *Animal Reproduction Science*. 232. DOI: [10.1016/j.anireprosci.2021.106826](https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2021.106826)
- Kursa, O., Pakula, A., Tomczyk, G., Pasko, S. & Sawicka, A. (2019). Eggshell apex abnormalities caused by two different Mycoplasma synoviae genotypes and evaluation of eggshell anomalies by fullfield optical coherence tomography. *BMC Veterinary Research*, 15(1) DOI: [10.1186/s12917-018-1758-8](https://doi.org/10.1186/s12917-018-1758-8)
- Li, R., Qi, X., Han, X., Liu, C., Wang, J., Wang, R., Wang, J. & Huang, J. (2017). Deterioration of eggshell quality is related to calbindin in laying hens infected with velogenic genotype VII Newcastle disease virus. *Theriogenology*. 91, 62-68. DOI: [10.1016/j.theriogenology.2016.12.030](https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.12.030)
- Mertens, K., Bamelis, F., Kemps, B., Kamers, B., Verhoelst, E., De Ketelaere, B. & De Baerdemaeker, J. (2006). Monitoring of eggshell breakage and eggshell strength in different production chains of consumption eggs. *Poultry Science*, 85(9), 1670-1677. DOI: <https://doi.org/10.1093/ps/85.9.1670>
- Mozafa, F., Ibertec. (2021). Blancos O Morenos ¡Esa Es La Cuestión! Recuperado de: <https://ibertec.es/articulos/blancos-o-morenos-esa-es-la-cuestion/> [Consultado 12-6-2024].
- Odabaşı, A.Z., Miles, R.D., Balaban, M.O. & Portier, K. M. (2007). Changes in brown eggshell color as the hen ages. *Poultry Science*, 86(2), 356-363. DOI: <https://doi.org/10.1093/ps/86.2.356>

- Roberts, J. (2004). Factors Affecting Egg Internal Quality and Egg Shell Quality in Laying Hens. *Journal of Poultry Science*, 41, 161-177. DOI:[10.2141/jpsa.41.161](https://doi.org/10.2141/jpsa.41.161)
- Samiullah, J.R. Roberts, K.K. Chousalkar. (2014). Effect of production system and flock age on egg quality and total bacterial load in commercial laying hens. *Journal of Applied Poultry Research*, 23(1), 59-70. DOI: <https://doi.org/10.3382/japr.2013-00805>
- Samiullah, S., Roberts, J. & Chousalkar, K. (2016). Oviposition time, flock age, and egg position in clutch in relation to brown eggshell color in laying hens. *Poultry Science*, 95(9), 2052-2057. DOI: <https://doi.org/10.3382/ps/pew197>
- Sandilands, V. (2011). The laying hen and bone fractures. *Veterinary Record*, 169(16), 411-2. DOI: <https://doi.org/10.1136/vr.d6564>
- Sañudo Astiz, C. (2011). *Atlas Mundial de Etnología Zootécnica*. Zaragoza: Servet.
- Sim, S., Park, C., Lee, S., Cho, S., Ji, Y., Noh, H. Lee, S. (2024). The effect of avian eggshell membrane structure on microbial penetration: A simulation study. *BioSystems*, 240. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystems.2024.105234>.
- Soler, R. & Bueso, J. (2018). Análisis de las alteraciones de la cáscara del huevo de gallina. *Nereis. Revista Iberoamericana Interdisciplinar de Métodos, Modelización y Simulación*, 10, 137-147.  
[https://www.researchgate.net/publication/335464837\\_Analisis\\_de\\_las\\_alteraciones\\_de\\_la\\_cascara\\_del\\_huevo\\_de\\_gallina](https://www.researchgate.net/publication/335464837_Analisis_de_las_alteraciones_de_la_cascara_del_huevo_de_gallina)
- Vlčková, J., Tůmová, E., Ketta, M., Englmaierová, M. & Chodová, D. Czech J. (2018). The effect of avian eggshell membrane structure on microbial penetration: A simulation study. *Czech Journal of Animal Science* 63(2), 51-60. DOI: 10.17221/77/2017-CJAS
- Wengerska, K., Batkowska, J. & Drabik, K. (2023). The eggshell defect as a factor affecting the egg quality after storage. *Poultry Science*, 102(7). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102749>
- Yang, H. M., Wang, Z. Y. & Lu, J. (2009). Study on the relationship between eggshell colors and egg quality as well as shell ultrastructure in Yangzhou chicken. *African Journal of Biotechnology*. 8(12), 2898-2902. DOI: <http://www.academicjournals.org/AJB>
- Wolc, A., Arango, J., Settar, P., O'Sullivan, N.P., Olori, V.E., White, I.M., Hill, W.G., Dekkers, J.C. (2012). "Genetic parameters of egg defects and egg quality in layer chickens". *Poultry Science*. 91(6), pp. DOI: <https://doi.org/10.3382/ps.2011-02130>