

3

Formación del huevo

Dra. Ana C. Barroeta Lajusticia

3

Formación del huevo

Dra. Ana C. Barroeta Lajusticia

Facultad de Veterinaria

Universidad Autónoma de Barcelona.

1 INTRODUCCIÓN

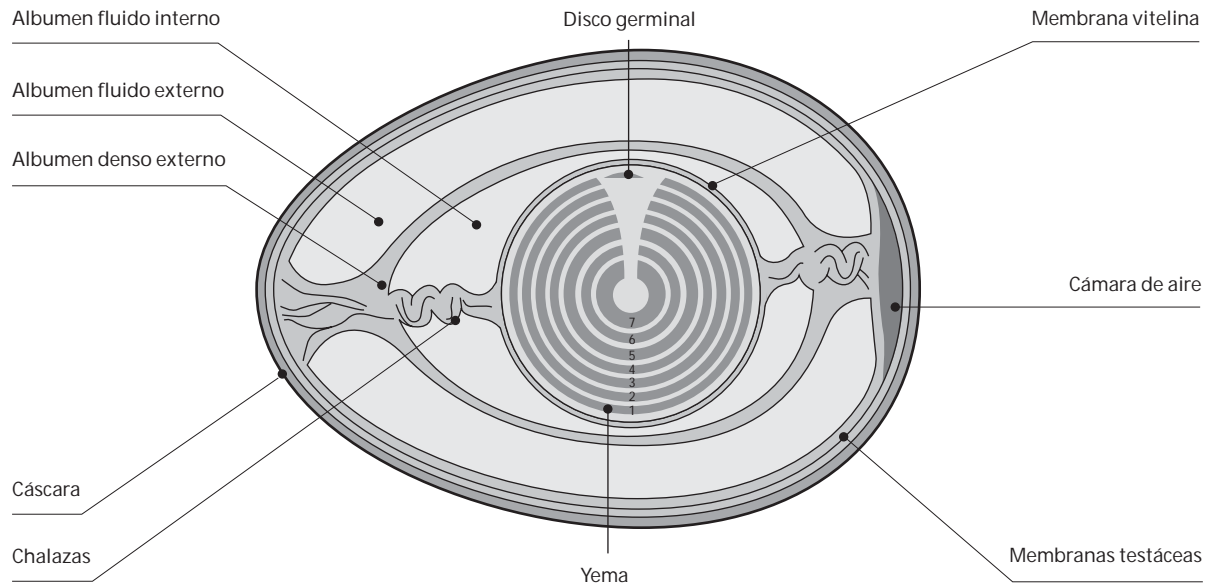
El huevo es uno de los primeros alimentos utilizados por el hombre y su consumo está ampliamente distribuido en la población mundial. Es tan común que a veces nos olvidamos que es

parte del proceso de reproducción de las aves, por ello contiene todos los nutrientes necesarios para el desarrollo de un hipotético futuro embrión.

La formación de un huevo supone un gran esfuerzo fisiológico por parte de la gallina que es capaz de depositar alrededor de 7.7 g de proteína, 7 g de lípidos, 2 g de calcio y 40 g de agua, entre otros, casi cada día.

Este trabajo se inicia con una descripción del huevo, detallando las distintas estructuras que forman parte de los tres componentes principales: yema, albúmen y cáscara. De cada uno de ellos, se detallará su composición, los lugares anatómicos y fases principales de su formación así como los mecanismos que regulan estos procesos. Se dedica una especial atención a las alteraciones estructurales y de composición del huevo más importantes, desde el punto de vista práctico, que tienen su origen durante los complejos procesos que envuelven su formación.

Figura 1. Estructura del huevo.



2 ESTRUCTURA DEL HUEVO

Un huevo contiene, básicamente, una yema central rodeada por el albúmen o clara y todo ello envuelto por una cáscara externa que lo protege. Aunque existen variaciones debidas a distintos factores como edad, estirpe, nutrición, etc., las proporciones medias de estos componentes son 31% para la yema y un 58% y 11% para el albúmen y cáscara, respectivamente. Sin embargo la estructura de huevo es mucho más compleja y viene esquematizada en la figura 1.

La yema esta rodeada por una membrana transparente, la membrana vitelina constituida por cuatro capas, dos de origen ovárico y las dos más externas sintetizadas en el oviducto. En la superficie de la yema encontramos el disco germinal que es lugar de división de las células embrionarias cuando el huevo está fecundado.

El albúmen inicialmente presenta cuatro zonas diferenciadas en un huevo fresco:

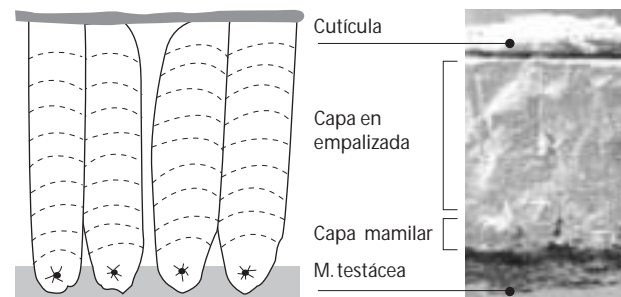
- Densa interna (1g; 3%) dispuesta en forma de filamentos que van desde la yema hasta los dos extremos del huevo constituyendo las chalazas que son las responsables de asegurar la suspensión de la yema en el centro del huevo.
- Interna fluida (6 g; 17%)
- Densa externa, (20 g; 57%) masa gelatinosa que rodea la anterior y se extiende a ambos extremos del huevo.
- Fluida externa, representa un 23% del total de la clara (8 g), está en contacto con las membranas testáceas y se visualiza al abrir el huevo.

La cáscara se sitúa sobre las membranas testáceas (interna y externa) y esta cubierta por la cutícula orgánica. Tiene un grosor aproximado de 0.35 mm, siendo el 90 % carbonato cálcico, presentando entre 7000 y 15000 poros que permiten el intercambio gaseoso con el exterior.

Cuando observamos en detalle la cáscara podemos observar la complejidad de su estructura (figura 2):

- Las membranas testáceas (interna y externa, representan un 3%) están formadas por un entramado de fibras constituidas por un núcleo proteico rodeado por una cubierta hidrocarbonada. Ambas membranas están fuertemente adheridas excepto en la zona de la cámara de aire, cuyo volumen aumenta en función del tiempo y condiciones de almacenamiento. Además de que las dos ejercen un papel protector de la contaminación microbiana, la membrana externa tiene la función de soporte de la verdadera estructura cristalina que se constituye como cáscara.
- La capa mamilar está constituida por núcleos o conos anclados a las fibras de la membrana testácea externa y sobre los que se realiza la calcificación.
- La capa en empalizada constituida por las columnas de carbonato cálcico que se van formando y entrelazando.
- Capa de cristales verticales, donde la cristalización cambia de dirección.
- La cutícula cubre los poros y le da el aspecto brillante. Se mantiene húmeda unos minutos tras la puesta.

Figura 2. Estructura de la cáscara del huevo.



Cono o núcleo

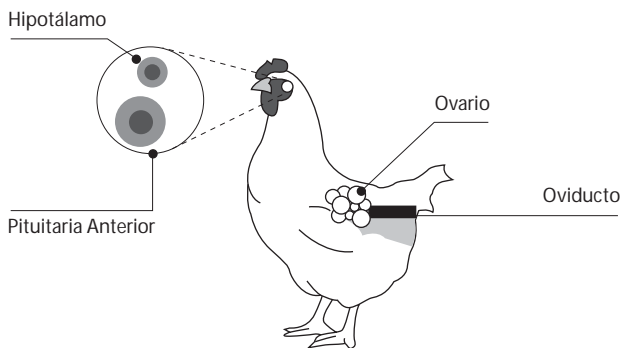
Desde otro punto de vista, la cáscara esta constituida por una parte inorgánica, fundamentalmente carbonato cálcico depositado en su forma más estable (calcita) y una parte orgánica, matriz orgánica, que esta integrada entre las columnas de calcita desarrollando un papel regulador del proceso de mineralización y, por lo tanto, influyendo decisivamente en las propiedades mecánicas de la cáscara.

3 PROCESO DE FORMACIÓN

La gallina llega a la madurez sexual hacia las 20 semanas, existiendo una responsabilidad múltiple sobre su control, ya que influyen aspectos tan diversos como la genética, la nutrición y el ambiente (fotoperiodo).

El aparato reproductor femenino del ave esta compuesto de ovario y oviducto, desarrollándose únicamente los izquierdos. Sin embargo, no podemos obviar el importante papel que desarrollan en la reproducción el cerebro (hipotálamo y pituitaria anterior o adenohipófisis), el hígado y el sistema óseo. (figura 3)

Figura 3. Partes anatómicas del ave relacionadas con la reproducción



El huevo se va formando gradualmente a lo largo de 24-26 horas, durante las cuales todos los componentes necesarios se

han de ir sintetizando o transportando hasta el lugar de formación y deben disponerse en la secuencia, cantidad y orientación adecuada para que el huevo producido sea correcto. Cualquier alteración en o durante el proceso dará lugar a anomalías y, consecuentemente, pérdidas en la calidad del huevo.

A continuación pasamos a describir las distintas fases de la formación de la yema, el albumen y la cáscara. En la figura 4 aparecen los distintas partes del aparato reproductor femenino del ave, indicando las funciones que desarrolla y el tiempo de permanencia del huevo durante su formación.

Figura 4. Esquema de la formación del huevo en la gallina

Parte Anatómica (cm)		Funciones	Tiempo
Ovario	7	Foliculos	Formación de gametos
			Depósito de yema
	9	Infundibulo	Fecundación M. Vitelanas
Oviducto	33	Magno	Depósito Albumen
	10	Istmo	Membranas testáceas
	10	Útero	Hidratación Albumen Formación cáscara
	10	Vagina Cloaca	Ovoposición

De 24 a 26 horas

La YEMA se desarrolla en el OVARIO, a partir de un óvulo rodeado por la pared folicular. Se puede describir como una emulsión de agua (49 %), lipoproteínas, proteínas, minerales y pigmentos

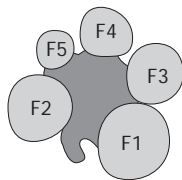
(tabla 1). El origen de los nutrientes puede ser doble: síntesis endógena o dietético, preformados. Todos los componentes son transportados hasta el ovario por vía sanguínea a partir del hígado, cuya actividad de lipogénesis se multiplica por 10 al llegar la madurez sexual.

Tabla 1. Composición del huevo y sus componentes (%)

	Cáscara (membranas)	Albumen	Yema	Huevo entero (sin cáscara)
Agua	1.5	88.5	49.0	73.6
Proteína	4.2	10.5	16.7	12.8
Lípidos	-	-	31.6	11.8
Otros compuestos orgánicos	-	1.1	1.1	1.0
Compuestos inorgánicos	94.3	1.6	1.6	0.8

El ovario pesa 35 g, aproximadamente, y se sitúa en la parte inferior de la cavidad abdominal, cerca del riñón. Su aspecto de "racimo uva" se lo confieren los folículos que se encuentran en distinta fase de crecimiento. Encontramos 3-4 folículos grandes y una serie de 8-12 en tamaño decreciente, mientras que el resto (más de 4000) son únicamente visualizados al microscopio (figura 5).

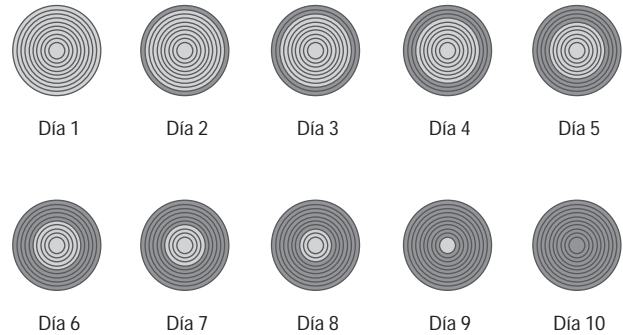
Figura 5. Ovario



Durante unos 10 días antes de la ovulación, se produce la fase de crecimiento rápido de la yema dentro del folículo ovárico (de 0.06 g a 18 g de peso), denominada vitelogénesis. Se pueden observar capas concéntricas de vitelo, cuya coloración varía en

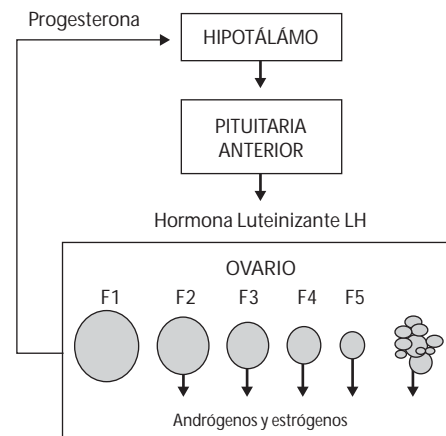
función del tipo y concentración de carotenoides del alimento consumido por la gallina (figura 6).

Figura 6. Incorporación de carotenoides en la yema.



La ovulación se produce cuando el folículo alcanza la madurez y se libera la yema que será captada por el oviducto. Esta ruptura se produce a nivel del estigma, que es la parte de la pared folicular exenta de capilares sanguíneos.

Figura 7. Representación de interacciones hormonales durante la ovulación.

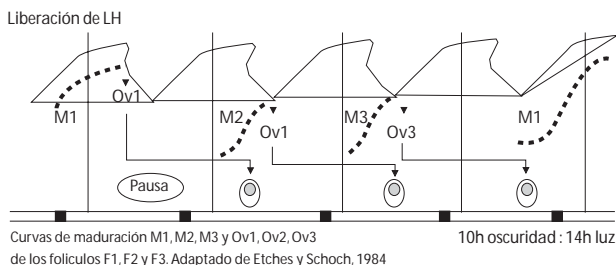


Pero la gallina no ovula de forma continuada cada día. La liberación de la yema esta controlada por hormonas producidas en la pituitaria y en los propios folículos, ambos bajo control del programa de luz. Para que la ovulación se produzca han de confluir dos fenómenos. Uno, que el folículo más grande (F1) madure y sea capaz de producir progesterona. En segundo lugar, que se produzca la liberación de hormona luteinizante (LH) desde el cerebro, fenómeno que solo ocurre en un margen de 6 a 8 horas al día "periodo abierto" y siempre después de iniciarse el periodo de oscuridad.

Entre ambas, progesterona y LH, existe un mecanismo de retroalimentación positiva "feed back" que continua hasta la fase pre-ovulatoria produciéndose la ruptura del folículo (figura 7). La liberación de la yema desde el ovario se produce de 8 a 10 horas después del pico de LH y la puesta del huevo totalmente formado se realiza unas 24 horas después. La siguiente ovulación se produce unos 30 minutos más tarde, es decir que las ovoposiciones se realizan de día (periodo de luz) y se van retrasando en el tiempo (Figura 8).

Por lo tanto, la gallina pone huevos durante varios días consecutivos, es decir una serie (20-40 huevos), y después estará 1 o 2 días sin poner. El número de huevos de la serie marca la tasa de producción que lógicamente va disminuyendo con la edad. Es interesante señalar que el tamaño de la yema va disminuyendo a lo largo de la serie y en forma inversa al grosor de la futura cáscara, presentando los huevos primeros de la serie una menor viabilidad embrionaria.

Figura 8. Modelo matemático de un ciclo ovulatorio con una serie de tres huevos.



La yema entra en el oviducto 24-26 horas antes de la salida del huevo a nivel de la cloaca (ovoposición). El OVIDUCTO se presenta como un tubo de 60-70 cm de largo y 40 g de peso, que va desde la región del ovario hasta la cloaca. En relación a las distintas funciones que realizan, se describen cinco secciones: infundíbulo, magno, istmo, útero o glándula cascarógena y cloaca (figura 4).

El INFUNDIBULO es la entrada del oviducto, el lugar donde la yema o vitelo es capturada tras la ovulación. Tiene forma de embudo y el tiempo de permanencia es aproximadamente 15-30 minutos. Aquí se forman las dos capas más externas de la membrana vitelina, que representan 2/3 partes del total y juegan un papel muy importante en la protección de la yema, evitando la entrada de agua a partir de la clara. Además, el infundíbulo es el lugar donde se puede producir la posible fertilización del huevo.

A continuación, vamos a describir las alteraciones más frecuentes relacionadas con el proceso de formación de la yema.

1. Reabsorción o ruptura del folículo y pérdida del contenido en la cavidad abdominal, provocándose el desarrollo de una peritonitis. Este fenómeno suele producirse por causa de un estado de subalimentación o durante la fase de muda.
2. Huevos de doble yema. Se producen dos ovulaciones al mismo tiempo y siguen su proceso conjuntamente. Estas ovulaciones múltiples se producen en gallinas jóvenes y también en estados de sobrealimentación. Suelen acompañarse de problemas de cáscara, ovulaciones erráticas y prolapso de oviducto.
3. Manchas de Sangre. Ocasionalmente, al romperse la pared folicular puede arrastrarse una región vascularizada lo que provoca la aparición de sangre en la superficie de la yema.

4. Coloraciones extrañas. El color de la yema depende de la concentración, actividad y tipo (relación rojos/amarillos) de carotenoides que contiene el pienso de las aves, pigmentantes que deben aportarse de forma continuada durante los diez días de crecimiento rápido del vitelo. Existen sustancias liposolubles que pueden provocar problemas de pigmentación (gosipol del algodón, ciertos aditivos, componentes de plantas silvestres, etc). Por supuesto que los problemas patológicos pueden afectar en el proceso de pigmentación.
5. Olores extraños. Este problema generalmente esta relacionado con el almacenamiento, si bien la utilización de sustancias liposolubles que contengan algún compuesto que provoque olores extraños puede ser vehiculado hasta la yema. Este es el caso de la utilización en el pienso de harinas o aceites de pescado y/o colza y la presencia de lanolina entre otros.

La formación del ALBUMEN se inicia en el MAGNO pero acaba en el útero. La clara esta formada por una solución acuosa (90% agua) de proteína y minerales (tabla 1). A diferencia de los componentes de la yema que provienen del hígado, las proteínas que constituyen el albumen son sintetizadas en el magno y están bajo la regulación de las hormonas esteroideas ováricas. Estas proteínas (más de 40, de ellas 7 representan el 90%) tienen propiedades nutricionales y funcionales específicas y algunas de ellas son únicas en la naturaleza. Cabe destacar la responsabilidad de la ovoalbúmina y ovomucina en la consistencia del albumen y las propiedades antibacterianas de la lisozima. Una carencia en el pienso de aminoácidos esenciales implicados en la síntesis de estas proteínas repercutirá en su calidad. Es interesante señalar, que existen trabajos realizados a nivel molecular para determinar los genes que codifican la producción de estas proteínas y que, en el futuro, pueden tener una gran repercusión sobre características específicas del huevo.

El magno es la sección más larga del oviducto y presenta distintos tipo de células con especificidad en la producción de las proteínas que forman el albumen.

- Las glándulas tubulares secretan ovoalbúmina y lisozima, entre otras, que equivalen al 80% de los componentes de la clara.
- Las células caliciformes sintetizan avidina y ovomucina.

La síntesis proteica se efectúa de forma continuada pero aumenta cuando la yema entra en el magno. La distensión tisular que produce la yema a su paso por el oviducto, provoca la liberación de las proteínas almacenadas en las células que se irán depositando durante las 3 horas y 30 minutos que tarda este proceso.

Cuando el huevo sale del magno, el albumen presenta un aspecto gelatinoso denso ya que solo contiene un 50 % del agua, es decir alrededor de 15 g. El proceso de hidratación y estructuración del albumen acaba en el útero, fase conocida como "plumpling". La transferencia de agua esta acompañada de minerales, sobre todo sodio, potasio y bicarbonato. Finalmente se constituyen las cuatro capas de albumen que se han detallado anteriormente (figura 1). Se produce una rotación del huevo en el útero dando lugar a la torsión de las fibras proteicas del albumen denso, formandose las chalazas. Por lo tanto el útero complementariamente al magno, es responsable de las propiedades fisicoquímicas de la clara y de la situación de la yema, es decir su función es determinante en la calidad interna del huevo.

Esta estructura se desintegra tras la puesta del huevo, transformándose el albumen denso en fluido. Al mismo tiempo y conforme el huevo pierde frescura, se pierde dióxido de carbono incrementándose el pH (a partir de 7.6), el agua emigra hacia la yema y la cáscara. Finalmente el proceso se agrava con la descentralización e incluso ruptura de la yema, empeorando los problemas organolépticos y de contaminación microbiana.

Por lo tanto la calidad del albumen se relaciona con la fluidificación del mismo y se puede valorar a través de la altura de su capa densa externa. Las Unidades Haugh (U.H.) son una medida que correlaciona esta altura en mm con el peso del huevo. Los valores de las U. H. pueden variar de 0 a 100 y en general valores superiores a 70 se consideran aceptables en términos de calidad. Las U.H. disminuyen con la edad del lote de gallinas y el tiempo de almacenamiento del huevo (figura 9). La disminución es mayor si los huevos se mantienen en condiciones de temperatura y humedad relativa incorrectas. (figura 10)

Figura 9. Relación entre la edad de la gallina y las U. Haugh y % de huevos de 2ª categoría.

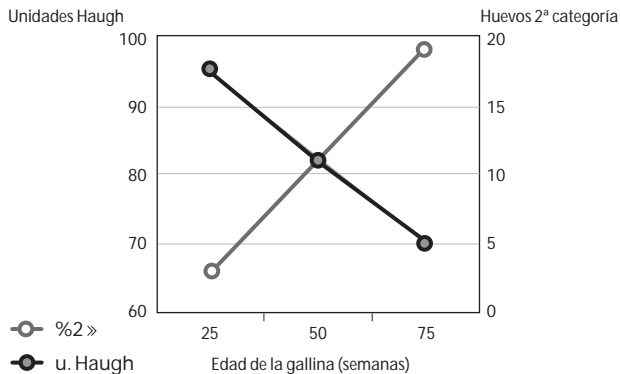
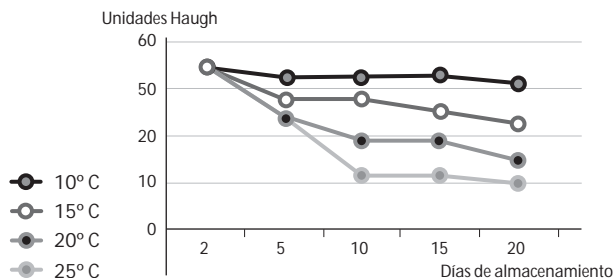


Figura 10. Efecto del tiempo y temperatura de almacenamiento del huevo sobre las Unidades Haugh



En relación a las alteraciones más frecuentes del albumen:

1. Clara fluida. Además de la pérdida de densidad del albumen que se produce de forma normal con la edad y el almacenamiento, algunas enfermedades víricas afectan a su proceso de formación. En concreto la bronquitis infecciosa altera las células calciformes responsables de la síntesis de ovomucina y por lo tanto de la estructura de gel del albumen.
2. Manchas de carne. La causa más frecuente es resto de tejido procedente del oviducto. Ocasionalmente se alude a una partenogénesis espontánea, es decir el desarrollo embrionario de un ovulo no fecundado. En algunas casos no son orgánicos sino restos de calcita.
3. Huevo sin yema. La presencia de un cuerpo extraño en el magno puede provocar el depósito del albumen y la continuación del proceso de formación sin la yema. Sobre todo se produce en pollitas jóvenes.

Al llegar al ISTMO (figura 4) el albumen empieza a rodearse de las fibras proteicas que constituirán las dos membranas testáceas (figura1).

El huevo en formación entra en el UTERO o GLANDULA CAS-CARÓGENA 5 horas después de la ovulación. Aquí tiene el mayor tiempo de permanencia de 18 a 22 horas y es donde se produce, fundamentalmente, la formación de la CÁSCARA.

En esta parte del oviducto se reconocen dos secciones diferenciadas y se presentan varios tipos de células secretoras.

La parte craneal del útero es de forma tubular (2cm; 5 horas de permanencia) y es responsable, además de la hidratación de la clara comentada anteriormente, de la organización de las fibras de la membrana testácea externa dentro de los núcleos de la capa mamilar, repercutiendo sobre la fijación posterior de los cristales de carbonato cálcico y, por lo tanto, en la solidez de la futura cáscara.

La parte mayor del útero, es una bolsa glandular donde se realiza la calcificación propiamente dicha, adquiriendo el tejido una coloración rojiza durante el proceso de mineralización. El huevo se encuentra en una solución sobresaturada de carbonato cálcico que se va depositando, en forma de calcita, alrededor y sobre las fibras que constituyen la membrana testácea externa en núcleos o conos concretos. Esta capa cristalina basal y los cristales que irradian constituyen los cuerpos mamilares, que crecen y se fusionan formando la capa mamilar. Durante este proceso ya se van definiendo los poros que atravesarán la cáscara. A partir de aquí, continua una fase de calcificación rápida dando lugar a la capa en empalizada y, posteriormente, se produce un cambio de orientación de los cristales formándose la capa de cristales verticales.

El alimento es la principal fuente de calcio, necesario para la formación de la cáscara (2g). Diversos mecanismos fisiológicos permiten que la concentración de Ca^{++} en sangre se mantenga relativamente constante y elevada, con la finalidad de conseguir un depósito de cáscara regular:

- Modificaciones fisiológicas. Durante el periodo de puesta, se incrementan las tasas de absorción, depósito y almacenamiento de Ca^{++} . Se produce una mayor transferencia de Ca^{++} desde la sangre a la superficie donde precipita el ion carbonato.
- Se produce una mayor apetencia específica por el calcio, es decir, un mayor consumo diario y horario. Así que la utilización de una fuente de calcio extra, a parte del pienso, y el momento de administración son fundamentales para mantener una buena calidad de cáscara. Si recordamos que la cáscara se deposita de forma continuada durante 20 horas y fundamentalmente de noche y que se produce un pico de consumo 2 horas antes del periodo de oscuridad, es lógico que se utilicen fuentes de calcio de absorción lenta sobre todo durante la tarde-noche.

- Además en el tejido óseo de la gallina madura existe una red trabecular que actúa de reserva de calcio para la formación del huevo, hueso medular (12% del esqueleto). El hueso medular se forma 10-14 días antes de iniciarse la puesta de huevos. Ahora bien, se necesita un aporte dietético continuado de calcio para mantener este depósito. Además, la gallina prioriza su función reproductora y podría llegar a descalcificarse. De hecho la formación de 6 huevos supondría la pérdida de 40% del total del calcio del esqueleto.

El fluido uterino también contiene los precursores de las proteínas que constituyen la matriz orgánica de la cáscara. La parte orgánica representa un 2 % del total de la cáscara y esta constituida por una mezcla de proteínas y glucoproteínas (70 %) con un 11 % de polisacáridos (tabla 1). Esta matriz se integra en el crecimiento de las columnas de calcita, dando elasticidad y consistencia a la cáscara.

Los pigmentos, responsables de la coloración de la cáscara, son porfirinas derivadas del metabolismo de la hemoglobina. Se depositan las 2 últimas horas de la formación del huevo y dependen de la estirpe.

Todo el conjunto de la cáscara está rodeado por la cutícula, que reduce las pérdidas de humedad y la contaminación bacteriana.

Una vez formado el huevo se producirá la expulsión a través de la VAGINA, tubo en forma sigmoidea que va desde la glándula cascarógena hasta la cloaca. No es necesario el contacto directo del huevo con la vagina, ya que se produce un prolapso de la parte posterior del útero. El huevo es expulsado con fuerza gracias a las contracciones de la musculatura lisa que rodea la mucosa. En algunas gallinas, el huevo gira 180 °C una hora antes de la ovoposición saliendo primero la parte roma.

No es extraño que se conozcan numerosas alteraciones de la cáscara después de entender el largo y complejo proceso de formación. Muchas de ellas se deben a alteraciones en la funciona-

lidad del oviducto bien sea por enfermedades, causas externas de estrés o problemas nutricionales. Además, hoy en día se sabe que las características ultraestructurales de la cáscara varían con la estirpe y la edad de la gallina.

1. Huevos en fáfara. No se ha producido correctamente la calcificación. Sobre todo se produce en pollitas jóvenes y la causan perturbaciones durante el proceso de mineralización.
2. Huevos arrugados. Puede ser causa de una hidratación incompleta del albumen lo que impide la distensión total de las membranas testáceas. Su incidencia puede estar relacionada con la presencia de enfermedades víricas.
3. Huevos diana (Target egg). Se encuentran dos huevos a nivel del útero. El lugar donde contactan las cáscaras se produce un anillo o zona plana.
4. Huevos translucidos. Puede ser a causa de una fusión incorrecta de las columnas en empalizada de calcita o por una ruptura de las membranas testáceas. Se produce un trasvase de agua hasta el interior de la cáscara.
5. Pandeo ecuatorial. Por un cambio en el tono muscular del oviducto que se refleja en un engrosamiento de la cáscara en el punto de contracción.
6. Cáscara áspera o rugosa. Suelen presentarse en huevos marrones por un depósito extra de calcio.
7. Huevos pálidos. Incorrecto depósito de porfirinas en la cáscara. La incidencia es mayor conforme aumenta la edad.
8. Huevos sucios. Puede producirse manchas de sangre o heces por un defecto durante la ovoposición. También

puede ser causa de una contaminación posterior, por ejemplo heces, marcas de la jaula, contaminación fúngica, restos de insectos, etc. Hay que recordar que la capa de mucina se deposita en último lugar y permanece húmeda tras la salida del huevo.

9. Huevos rotos, fisurados. Suele ser por causa de un impacto externo. No olvidemos que el huevo realiza un transporte y manipulación antes de llegar al lugar de consumo. Otro ejemplo es la incisión de una uña de la gallina.

Bibliografía

- 1 Burley, R.W. y Vadhera, D.V. The avian egg chemistry and biology. Ed. John Wiley & sons, 1989.
- 2 Etches, R.J. Reproducción aviar. Ed. Acribia, 1998.
- 3 Egg Quality Guide. Department for environment, food & rural affairs. Reino Unido, 2000.
- 4 Coutts, J.A. y Wilson, G.C. Manual Práctico de Calidad del Huevo. Roche Vitaminas S.A., 1995.
- 5 König y Liebich. Anatomie und Propädeutik des Geflügels. Schattauer, 2001.
- 6 Leeson, S. Y Summers, J.D. Broiler breeder production. Ed. University Books, 2000.
- 7 Memoria de las Jornadas de Control y Mejora de la Calidad del Huevo. Reus, 2001.
- 8 Robinson, F. E. Management for Control of Ovarian Development in Broiler Breeders. Ross Tech. Abril 1999.
- 9 Robinson, F. E. y Renema, R.A. Principles of photoperiod management in female broiler breeders. Technical News vol.7 nº 1. 1999.
- 10 Sauver, B. Reproduction des volailles et production d'oeufs. INRA, 1988.
- 11 Solomon, S.E. Egg and Eggshell Quality. Iowa State University Press. 1991
- 12 <http://www.gla.ac.uk/faculties/vet/research/poultry/shell.html>
Poultry Research Unit University of Glasgow.