



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y PECUARIAS
ESCUELA DE CIENCIAS VETERINARIAS**

**CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DE CÁSCARA DE HUEVO BLANCO EN
PLANTELES AVÍCOLAS COMERCIALES EN CHILE Y SU RELACIÓN CON
DETERMINADOS FACTORES DE PRODUCCIÓN**

CAROLINA ZABDI ARENAS NORAMBUENA

Memoria para optar al Título Profesional
de Médico Veterinario

Departamento de Fomento de la
Producción Animal.

PROFESOR GUÍA: MARCELO ANIBAL HIDALGO CONCHA

Financiamiento interno

SANTIAGO, CHILE

2016



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y PECUARIAS
ESCUELA DE CIENCIAS VETERINARIAS

**CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DE CÁSCARA DE HUEVO BLANCO EN
PLANTELES AVÍCOLAS COMERCIALES EN CHILE Y SU RELACIÓN CON
DETERMINADOS FACTORES DE PRODUCCIÓN**

CAROLINA ZABDI ARENAS NORAMBUENA

Memoria para optar al Título Profesional
de Médico Veterinario

Departamento de Fomento de la
Producción Animal.

Nota Final Firma

Prof. Guía: Marcelo Aníbal Hidalgo C.

Profesor Corrector: José Luis Arias B.

Profesor Corrector: Carlos Alvear Suitt.

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue caracterizar la calidad de cáscara del huevo blanco en planteles avícolas comerciales en Chile y su relación con determinados factores de producción, para lo que se realizó un muestreo entre los 10 principales productores de huevos del país. A cada empresa participante se le solicitó muestras de huevos provenientes de aves de diferentes edades, los que fueron evaluados respecto a su peso y resistencia y espesor del cascarón. Además, se evaluó la conchuela utilizada como fuente de calcio en la dieta de las ponedoras en los distintos planteles, en cuanto a su granulometría y contenido de calcio. Como resultado se obtuvo que el peso del huevo aumentó según la edad de las aves, mientras que la resistencia de sus cáscaras disminuyó de manera constante. El espesor de cáscara se mantuvo estable con el incremento de la edad en las diferentes empresas. Se evaluaron las relaciones entre el promedio de todos los planteles participantes para las distintas variables por medio de regresiones lineales y coeficientes de correlación. Se determinó además que los componentes con mayor injerencia sobre la resistencia de la cáscara son su espesor y la edad de las aves de forma conjunta. En cuanto a la granulometría de conchuela se obtuvo que ninguno de los productores participantes cumple con los requerimientos propuestos por los manuales de las líneas genéticas utilizadas; no obstante, fue posible concluir que el contenido de calcio de la conchuela es relativamente estable entre las muestras otorgadas por las distintas empresas.

Palabras clave: gallinas ponedoras, calidad de cáscara, conchuela, tamaño de partícula.

ABSTRACT

The aim of this study was to characterize the quality of the white shell egg in commercial poultry establishments in Chile and its relationship to certain factors of production, for which a sampling among the top 10 egg producers in the country was performed. Each participating company was requested to provide samples of eggs from hens of different ages, which were evaluated for weight and strength and thickness of the eggshell. In addition, the oyster shell used as a source of calcium in the diet of laying hens in various enterprises, in terms of particle size and calcium content was evaluated. The resulting data showed that egg weight increased along with the age of the birds, while the strength of their shells fell steadily. The eggshell thickness remained stable with increasing age across different companies. The relationship between the average of all participating establishments for different variables by linear regression and correlation coefficients were evaluated. It was further determined that the components with greater influence on the eggshell strength are its thickness, as well as the age of the hens together. As for the oyster shell particle size, was found that none of the participating egg producers meet the requirements proposed by the manuals of genetic lines used. However, it was possible to conclude that the calcium content of the oyster shell is relatively stable between samples given by the different companies.

Key words: laying hens, eggshell quality, oyster shell, particle size.

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo a la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) la producción mundial de huevos se ha incrementado de manera consistente desde el inicio del nuevo milenio, tendencia que se conserva en América del Sur, la que en efecto es más pronunciada. De esta forma, la industria nacional entre los años 2002 y 2013 ha sufrido una tasa de crecimiento promedio de 2,8% anual (Giacomozzi, 2014). Cabe destacar que en Chile la producción de huevos se enfoca en un 75% a huevos blancos, cuya producción promedio anual entre los años 2010 y 2013 fue de 2.224.114.250 huevos, según datos que derivan del Informe Anual Agropecuario 2013, publicado por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE, 2014). Considerando la magnitud del mercado, la calidad del cascarón adquiere un rol fundamental, ya que determina la calidad e inocuidad del producto, ocasionando su deterioro grandes impactos económicos en la industria (USDA, 2000; Hunton, 2005).

1.1. Ciclo productivo de la gallina ponedora: implicancias en calidad de cáscara

El ciclo productivo de una gallina destinada a postura comienza generalmente con su llegada como pollita de 0 días al plantel. Las pollitas son criadas en galpones especialmente diseñados para ellas hasta las 16 o 17 semanas de edad, momento en que son transferidas a los galpones de postura donde permanecerán durante su vida productiva. La producción de huevos comienza en promedio alrededor de las 18 o 20 semanas de edad. La duración de la vida productiva del ave depende de cuántos ciclos de producción esta tenga, el que ordinariamente es uno, para aves que finalizan su postura a las 70 u 80 semanas de edad, o dos, en el caso de que a las 70 u 80 semanas se realice la pelecha, lo que extiende la postura incluso posterior a las 100 semanas de vida (CFSPH y USDA, 2013). La pelecha es la pérdida de plumas que tiene lugar cuando las aves son sometidas a estrés. Durante este período, la producción de huevos se interrumpe y el aparato reproductivo se regenera. La pelecha forzada es una práctica comúnmente utilizada bajo condiciones controladas, realizada en función de la realidad económica existente: costo del alimento, precio del huevo y costo de pollita de reemplazo (USDA, 2000). Se logra generar una pelecha forzada privando de alimento a las aves durante 12 días, sin restringir el consumo de agua,

continuando con una dieta baja en proteínas pero alta en calcio hasta el restablecimiento de la producción. Se ha documentado que las aves llegan a perder un 25% de su peso inicial durante este período (USDA, 2000; Pizzolante *et al.*, 2011; Çatlı *et al.*, 2012). El vínculo entre el ciclo productivo del ave con la calidad del huevo, radica en que existe una relación inversa entre la edad de la gallina con el espesor y otros parámetros determinantes de la calidad de cáscara del mismo (USDA, 2000; De Ketelaere *et al.*, 2002).

1.2. Importancia de la cáscara del huevo

La cáscara del huevo representa aproximadamente un 11% de su peso (USDA, 2000). Sus principales funciones son proteger al embrión del daño mecánico y regular el intercambio gaseoso entre el polluelo en desarrollo y el ambiente externo, previniendo su contaminación con bacterias y otros patógenos, además de cumplir el rol de envase para esta importante fuente de nutrientes a nivel comercial (Hunton, 2005). El cascarón es una cerámica compuesta biomineralizada constituida básicamente por carbonato de calcio (CaCO_3) incrustado en una matriz orgánica de proteoglicanos. Los componentes de la matriz estarían involucrados en el control de la mineralización, textura cristalográfica y propiedades biomecánicas de la cáscara (Panheleux *et al.*, 1999). No obstante, el cascarón del huevo no es una estructura simple, sino que es el resultado de la deposición de diferentes capas que son fabricadas secuencialmente durante el pasaje del huevo a través del oviducto, proceso que se extiende por un período de entre 18 a 20 horas (Hunton, 2005). Las primeras capas que reposan sobre la albúmina son las membranas fibrilares, seguidas por agregaciones discretas de material orgánico llamadas cuerpos mamilares, sitios en que la matriz orgánica de la cáscara se une y donde además inicia la cristalización del CaCO_3 . La porción sólida de la cáscara, la denominada capa empalizada, se organiza sobre esta matriz, siendo posteriormente cubierta por la cutícula, la cubierta externa del cascarón (Hunton, 2005; Panheleux *et al.*, 1999). Las porosidades que se aprecian en la cáscara son las encargadas de conectar la superficie del huevo con los cuerpos mamilares (USDA, 2000), lo que determina su condición semipermeable, permitiendo el intercambio de aire y humedad, pero no de moléculas grandes, mientras provee calcio para el desarrollo embrionario (Hunton, 2005; Yan *et al.*, 2014). En cuanto a la composición química del cascarón, un

94% corresponde a CaCO₃, un 1% a carbonato de magnesio, un 1% a fosfato de calcio y un 4% a materia orgánica (USDA, 2000).

1.3. Calidad de la cáscara del huevo

Existen diversas metodologías para pesquisar la calidad del huevo, como también la calidad de su cáscara, particularmente en lo que respecta a su resistencia. Algunas de las variables históricamente utilizadas con este fin han sido la rigidez estática, resistencia a la fractura, deformación, peso, gravedad específica, espesor y porcentaje de cáscara, entre otras. Adicionalmente, existen variables que evalúan la geometría del huevo, entre las que destacan el índice morfológico, diámetro medio, esfericidad, volumen y área de superficie. Actualmente se han introducido nuevos parámetros, como la uniformidad del espesor del cascarón y la rigidez dinámica (De Ketelaere *et al.*, 2002; Koreleski y Świątkiewicz, 2004; Hunton, 2005; Altuntaş y Şekeroğlu, 2008; Pelicia *et al.*, 2009; Pizzolante *et al.*, 2011; Çatlı *et al.*, 2012; Guo y Kim, 2012; Yan *et al.*, 2014; Świątkiewicz *et al.*, 2015a; Tunç y Cufadar, 2015).

1.4. Factores relevantes sobre la calidad de la cáscara del huevo

Se ha demostrado que la inclusión de ciertos ingredientes en la dieta de ponedoras mejora la calidad del cascarón. Así es como Çatlı *et al.* (2012) demostraron en gallinas Brown-Nick de 85 semanas que la inclusión de harina de carne y hueso en un 4%, como sustituto de un porcentaje de la fuente de calcio, mejoraría el espesor de cáscara y resistencia a la fractura de la misma, además de algunas características internas del huevo, como la altura de la albúmina y unidades Haugh. De la misma forma, Bozkurt *et al.* (2004) plantean que una inclusión de un 2% de harina de carne y hueso en la dieta de gallinas de edad avanzada influiría positivamente en la producción, aumentando además el porcentaje de cáscara de sus huevos. Esto se explica dado el rico contenido de calcio y fósforo orgánico de este insumo, minerales que en esta forma son utilizados más eficientemente que como fuentes inorgánicas. La fitasa es otro ingrediente con injerencia sobre la ovoproducción, ya que se ha comprobado que su adición *on top* a las dietas mejora la producción de huevos y disminuye su porcentaje de deterioro, debido a que aumenta la disponibilidad de materia

seca, fibra y fósforo (Lim *et al.*, 2003). Es importante destacar que el fósforo participa en la formación de huesos, utilización de la energía y como parte estructural de componentes celulares (NRC, 1994). Adicionalmente, existen aditivos alimentarios mejoradores de calidad de cáscara, entre los que destacan microelementos como el zinc y manganeso, ya que ejercen acción sobre los índices metabólicos del tracto digestivo, beneficiando el proceso de mineralización del cascarón (Świątkiewicz *et al.*, 2015b). Por otro lado, se ha documentado que el espacio y condiciones ambientales en que las aves habitan influye significativamente sobre el consumo de alimento y, en consecuencia, sobre la eficiencia de conversión alimentaria (Pizzolante *et al.*, 2011), lo que podría ocasionar mermas en la producción y calidad de los huevos.

1.5. Calcio y calidad de la cáscara del huevo

Dada la alta presencia de calcio en el cascarón, el ave debe ser provista de este mineral por medio de la dieta (Hunton, 2005; Zambrano y Zelada, 2007). Hunton (2005) ilustra esto por medio de números: si el volumen sanguíneo de una ponedora de 1,5 kg es de alrededor de 75 ml, y la concentración máxima de calcio sanguíneo posible es de 30 mg/100 ml, el máximo contenido de calcio presente en sangre sería aproximadamente de 25 mg. El calcio contenido en la cáscara de un huevo de 60 g pesa alrededor de 2,3 g, en otras palabras, 92 veces el nivel de calcio sanguíneo máximo de un ave. Este mineral puede ser entregado de diversas formas, como CaCO_3 , piedra caliza, fosfato bicálcico, harina de carne y hueso, conchuela, entre otras (Hunton, 2005; Çatlı *et al.*, 2012). El calcio dietario es absorbido por el ave hacia el torrente sanguíneo, desde donde se transporta a los huesos, lugar en que es almacenado hasta su utilización, o directamente a la glándula de la cáscara, donde ocurre la síntesis del CaCO_3 para su deposición como cascarón (Hunton, 2005).

1.6. Conchuela

La conchuela corresponde a sedimentos compuestos principalmente por caparzones calcáreos de organismos marinos, con diferentes proporciones de materiales clásticos y diverso grado de compactación (Çatlı *et al.*, 2012; SERNAGEOMIN, 2014). En Chile el CaCO_3 engloba tres tipos de recursos: caliza, CaCO_3 blanco (de alta pureza) y conchuela,

siendo esta última la utilizada como fuente de calcio en la alimentación de aves. La conchuela es extraída en las regiones de Atacama (III) y Coquimbo (IV), aunque en esta última la productividad es mayor (163.681 t versus 17.965 t en Atacama, según datos del año 2013) (SERNAGEOMIN, 2014).

1.7. Granulometría de conchuela

Desde la década de los sesenta se ha sostenido la idea de que el calcio otorgado a las aves debe cumplir con ciertos requisitos de tamaño, esto debido a que partículas de mayor envergadura tomarían más tiempo en ser digeridas y por ende mayor cantidad de calcio sería absorbido por el animal. Así han surgido estudios en que se sugiere que las gallinas buscarían partículas de calcio más grandes a medida que finaliza el día, previo al período de síntesis de cáscara que ocurre durante la noche, cuando no hay consumo de alimento, supliendo continuamente los requerimientos de calcio cuando más carecen, manteniendo así las reservas óseas de este mineral (Hunton, 2005; Pizzolante *et al.*, 2011; Çatlı *et al.*, 2012). Hunton (2005) además plantea que, más que un nivel específico de calcio en la dieta, esta debe ser formulada asegurando la ingesta específica de calcio diario basado en el consumo de alimento y las tasas de producción, recomendando a la vez suministrar al menos un 25% e incluso hasta un 100% en forma de partículas gruesas. Según el mismo autor se consideran partículas gruesas aquellas cuyo tamaño fluctúe entre los 2 y 5 mm. Koreleski y Świątkiewicz publicaron el año 2004 un estudio realizado en ponedoras Hy-Line Brown, en que partículas de piedra caliza comprendidas entre los 0,1 y 0,4 mm fueron consideradas finas, mientras que aquellas con diámetros entre 2 y 4 mm calificaban como gruesas. En aquel ensayo, se evaluó la calidad del cascarón de los huevos puestos por aves alimentadas con distintas concentraciones de partículas finas y gruesas; como resultado se obtuvo que las ponedoras utilizan mejor el calcio en dietas en que es proporcionado como partículas gruesas de manera parcial, lo que incrementaría el espesor del cascarón de los huevos producidos durante el primer ciclo de postura (en inclusiones de un 60% a 80%) como también la resistencia a la fractura del cascarón (en inclusiones desde un 20% a un 100%). Como la anterior, han sido realizadas numerosas investigaciones; en la tabla 1 es posible encontrar un resumen de las conclusiones obtenidas por diversos autores.

Tabla 1. Resumen de estudios relativos a granulometría de partículas de calcio.

Autor	Línea genética utilizada	Edad aves	Recomendación de granulometría de calcio	Características mejoradas
Koreleski y Świątkiewicz, 2004	Hy-Line Brown	33 semanas.	60% a 80% de partículas gruesas.	Incrementaría espesor de cáscara.
		33-72 semanas.	20% a 100% de partículas gruesas.	Aumentaría resistencia a la fractura de cáscara.
Hunton, 2005	*	*	25% e incluso hasta un 100% en forma de partículas gruesas.	*
Pizzolante et al., 2011	Hy-Line Brown	92-108 semanas.	50% de partículas gruesas.	Aumentaría gravedad específica del huevo, además de espesor, porcentaje y peso de cáscara.
Çatlı et al., 2012	Brown Nick	85-105 semanas.	25% de conchuela de 2,32 mm de diámetro y 75% de piedra caliza de 1,82 mm de diámetro.	Mejoraría consumo de alimento y tasa de producción de huevos.
Guo y Kim, 2012	ISA Brown	*	20% a 100% de partículas gruesas.	Mejoraría peso y gravedad específica del huevo, además de espesor y resistencia a la fractura de cáscara.
Świątkiewicz et al., 2015a	ISA Brown	> 56 semanas.	25% a 50% de partículas gruesas.	Incrementaría espesor y porcentaje de cáscara.
		> 69 semanas.	25% a 50% de partículas gruesas.	Aumentaría espesor, porcentaje, densidad y resistencia a la fractura de cáscara.
Tunç y Cufadar, 2015	Bown Nick	44-56 semanas.	50% de partículas gruesas.	Incrementaría peso del huevo.

* Información no especificada.

Por otro lado, distintos autores y empresas de genética han clasificado partículas de calcio finas y gruesas de diferentes maneras. Es así como Lohmann Tierzucht (2016) sugiere que para su línea genética Lohmann LSL-Lite, una partícula gruesa correspondería a aquellas comprendidas entre 1,5 a 3,5 mm, mientras que para Hy-Line (2016) lo sería aquella con un

tamaño de entre 2 a 4 mm de diámetro. En la tabla 2 se encuentran los diferentes calibres de partícula considerados finos y gruesos por distintos autores, incluyendo a compañías proveedoras de genética.

Tabla 2. Granulometría de partículas de calcio según distintos autores.

Autor	Fina (mm)	Gruesa (mm)
Koreleski y Świątkiewicz, 2004	0,1-0,4	2-4
Hunton, 2005		2-5
Pelicia <i>et al.</i>, 2009	≤ 0,18	≥ 3,13
ISA, 2009-2010		2-4
Pizzolante <i>et al.</i>, 2011	< 0,5	> 2
Guo y Kim, 2012	≤ 2,38	≥ 4,75
Świątkiewicz <i>et al.</i>, 2015a	0,2-0,6	1-1,4
Tunç y Cufadar, 2015	< 2	2-5
Hy-Line, 2016	0-2	2-4
Lohmann Tierzucht, 2016	0-0,5	1,5-3,5
Promedio*	≤0,8	≥1,7

* El promedio fue calculado utilizando las medianas de aquellos valores entregados como rangos y el máximo o mínimo valor permitido en los casos de valores descritos como ≤ o ≥ respectivamente.

Cada línea genética recomienda el suministro de distintas proporciones de partículas de calcio según la edad de las aves. Las recomendaciones de las líneas genéticas evaluadas en el presente estudio se resumen en la tabla 3, de acuerdo a lo estipulado en las guías de manejo de cada empresa. Los motivos de estas se fundamentan en estudios como los realizados por Zhang y Coon (1997) y Pelicia *et al.* (2009) en que se concluyó que a mayor tamaño de partícula menor es su solubilidad *in vitro* (30%-50%). Gracias a esto incrementaría su tiempo de retención en la molleja, permitiendo su permanencia en un ambiente ácido: la acidez aumenta las oportunidades de disociar el CaCO₃ en Ca⁺, forma en que este mineral es absorbido a nivel intestinal. Las partículas pequeñas, incluso presentando una alta solubilidad, permanecen *in vivo* por un corto período debido a su tamaño (mayor tasa de pasaje desde la molleja): la liberación relativamente alta de calcio por parte de estas partículas, excedería la capacidad de absorción intestinal, por lo que la utilización del mineral se vería reducida. No obstante lo anterior, Koreleski y Świątkiewicz (2004) sostienen que las aves tienen un volumen de ingesta voluntaria de partículas gruesas de calcio que bordea entre un 60% y 80% del calcio dietario, lo que equivaldría a 5,5 g

diarios por ave. Del mismo modo, Zhang y Coon (1997) plantean que el límite máximo de retención de partículas gruesas en la molleja sería de 11 a 15 g, considerando que las partículas sean de baja solubilidad *in vitro* en gallinas alimentadas con niveles de calcio dietario de 3,72% (la cantidad de partículas retenidas por la molleja es dependiente del nivel dietario de calcio, tamaño de partícula y su solubilidad).

Tabla 3. Recomendaciones de proporciones de partículas de calcio a entregar por fase de alimentación según línea genética.

Línea genética	Fase de alimentación	Partícula fina %	Partícula gruesa %
Bovans White (ISA, 2009-2010)	Tamaño de partícula	Polvo	2-4 mm
	Desde semana 10	50	50
Hy-Line W36 (Hy-Line, 2016)	Tamaño de partícula	0-2 mm	2-4 mm
	Iniciación, crecimiento, desarrollo	100	0
	Pre postura	50	50
	Semanas 17-37	50	50
	Semanas 38-48	45	55
	Semanas 49-62	40	60
Lohmann LSL- Lite (Lohmann, 2016)	Desde semana 63	35	65
	Tamaño de partícula	0-0,5 mm	1,5-3,5 mm
	Ponedora fase 1	30	70
	Ponedora fase 2	25	75
	Ponedora fase 3	15	85

Según Zambrano y Zelada (2007) en Chile se comercializan 3 tipos de conchuelas, diferenciadas por su granulometría, que corresponden a las siguientes categorías:

- Conchuela tipo 1: producto fino bajo malla 8 (2,3 mm)
- Conchuela tipo 2: producto bajo ¼ pulgada (6,35)
- Conchuela tipo 3 o cascote: producto bajo 1 pulgada (19,05 mm).

Según los mismos autores, las industrias avícolas demandan conchuela tipo 2 y pagan alrededor de \$11.000 a \$13.000 por tonelada.

Considerando los datos anteriormente expuestos es que los productores avícolas chilenos han manifestado la inquietud de conocer cuál es la calidad de cáscara de los huevos comercializados en el país, información inexistente hasta ahora. Por otro lado, tampoco se

poseen mayores conocimientos sobre la principal fuente de calcio utilizada por los avicultores en Chile, que es, por ende, factor de producción determinante de la calidad de cáscara del huevo: la conchuela. De esta forma, el objetivo del presente estudio fue caracterizar la calidad de cáscara del huevo blanco en planteles avícolas comerciales en Chile y su relación con determinados factores de producción.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para caracterizar la calidad de cáscara del huevo blanco durante el ciclo productivo en planteles avícolas chilenos, se realizó un muestreo entre los productores de huevos más representativos del país, que corresponden a las 10 principales empresas (10 unidades experimentales). En conjunto, estas compañías manejan más de un 70% de la producción nacional de huevos. A cada establecimiento se le solicitó 15 huevos de ponedoras de 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 y 110 \pm 3 semanas de edad, recolectados directamente desde el galpón. No obstante, al momento del muestreo no todas las empresas poseían aves de cada edad solicitada, por lo que, en total, alrededor de 900 huevos fueron evaluados.

Los huevos recolectados fueron pesados, sometidos a pruebas de resistencia a la fractura y los espesores de sus cáscaras medidos dentro de su respectiva semana de colección, buscando evitar posibles variaciones en su peso, según lo reportado por Jones y Musgrove (2005).

La resistencia del cascarón fue evaluada en el Laboratorio de Patología Aviar de la Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias (FAVET) de la Universidad de Chile, por medio de un lector de fuerza de huevo (Egg Force Reader, Orka Food Technology, Israel). Para medir el espesor de cáscara se empleó el mismo procedimiento que aquel utilizado por Çatlı *et al.* (2012) y Guo y Kim (2012). Brevemente, se removieron las membranas internas del cascarón de forma manual, luego se determinó el espesor con ayuda de un pie de metro en el polo superior, inferior y ecuador del huevo. El promedio de estos tres valores se consideró el espesor del cascarón.

La importancia de cada uno de los planteles se determinó por un ANDEVA en base al siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + P_i + bX_{ij} + e_{ij}$$

donde:

Y_{ij} = variable de estudio (peso del huevo, resistencia y espesor del cascarón)

P_i = efecto fijo del i-ésimo plantel ($i = 1, \dots, 10$)

b = coeficiente de regresión respecto a la edad de las aves, X_{ij} = edad en días de las aves

e_{ij} = error experimental.

La diferencia entre los promedios de cada unidad experimental se determinó mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Posteriormente se definió mediante una regresión múltiple la importancia de la edad de las aves, el peso del huevo y el espesor de la cáscara sobre su resistencia, para finalmente obtener las regresiones lineales y correlaciones respectivas entre las distintas variables evaluadas (edad de las aves, peso del huevo, resistencia y espesor de la cáscara).

La granulometría y contenido de calcio de la conchuela utilizada como fuente de calcio por los planteles participantes fue analizada, considerándose un factor de producción determinante en cuanto a calidad de cáscara de huevo. Para esto se solicitó una muestra mensual de 500 gramos de conchuela por empresa durante 4 meses. A las muestras recolectadas se les realizó determinación de granulometría en el Laboratorio de Calidad ubicado en las dependencias de Agrícola Chorombo Ltda., utilizando 13 tamices (tabla 4). Cada muestra fue sacudida durante 10 minutos con un agitador de tamices (Gilson, RO-TAP). Se consideró como conchuela fina a aquella con partículas $\leq 0,8$ mm y como conchuela gruesa a aquella con partículas $\geq 1,7$ mm, de acuerdo a los promedios derivados de la tabla 2.

La determinación de calcio en las muestras de conchuela se llevó a cabo en el laboratorio Labser por medio de un equipo de espectroscopía de emisión por plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES, Optima 8300, Perkin Elmer).

Tabla 4. Tamices utilizados para determinar granulometría de conchuela.

Número de tamiz	Diámetro de abertura (mm)
6	3,350
12	1,700
16	1,180
18	1,000
20	0,850
30	0,600
35	0,500
40	0,425
50	0,300
70	0,212
80	0,180
100	0,150
140	0,106

A cada empresa participante se le realizó una encuesta relativa al manejo del plantel. Por medio de esta se pudo caracterizar el perfil de cada una, identificando factores de producción nutritivos y no nutritivos que podrían tener injerencia sobre la calidad de cáscara.

3. RESULTADOS

Cada empresa evaluada es representada como una letra asignada aleatoriamente de manera correlativa, desde la “A” a la “J”.

Los resultados de peso del huevo, espesor y resistencia a la fractura de sus cáscaras según empresa y rango etario de proveniencia se presentan en las tablas 5 y 6 respectivamente. Los gráficos que representan esta información son aquellos desde la figura 1 a 3. El peso del huevo aumentó según la edad de las aves sin diferencias significativas entre las distintas empresas ($p \leq 0,05$), mientras que la resistencia de sus cáscaras disminuyó; no obstante, entre las semanas 70 y 90 se puede apreciar un incremento transitorio de esta en todos los planteles. Para la resistencia de cáscara se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre las distintas empresas, siendo la empresa D muy diferente al resto (tabla 5). El espesor de cáscara se mantuvo estable con el incremento de edad para todos los productores, con un leve descenso hacia la semana 50, el que se acentuó hacia la semana 110. Existen diferencias significativas entre el espesor de cáscara de los huevos provenientes de las distintas empresas evaluadas.

Tabla 5. Resultados de peso del huevo, resistencia y espesor de cáscara según empresa.

Característica Empresa	Peso del huevo (gr)		Resistencia de cáscara (Kgf)		Espesor de cáscara (mm)	
	Promedio ± DE	CV (%)	Promedio ± DE	CV (%)	Promedio ± DE	CV (%)
A	64 5	8	4,008 271 ^a	7	0,374 0,046 ^b	12
B	62 5	8	4,808 556 ^{bc}	12	0,340 0,011 ^{ab}	3
C	63 3	5	3,954 483 ^a	12	0,331 0,008 ^a	2
D	60 5	9	5,057 623 ^c	12	0,376 0,012 ^b	3
E	60 8	13	4,115 349 ^{ab}	8	0,322 0,017 ^a	5
F	61 5	9	3,934 613 ^a	16	0,326 0,024 ^a	7
G	63 4	7	4,042 708 ^a	18	0,354 0,023 ^{ab}	6
H	63 6	10	4,273 770 ^{abc}	18	0,331 0,008 ^a	2
I	65 4	7	4,466 1122 ^{abc}	25	0,332 0,037 ^a	11
J	64 3	5	3,805 620 ^a	16	0,324 0,007 ^a	2

^{a, b, c} Letras en la misma columna con diferentes superíndices indican diferencias significativas.

Tabla 6. Resultados de peso del huevo, resistencia y espesor de cáscara según rango etario.

Característica	Peso del huevo (gr)		Resistencia de cáscara (Kgf)		Espesor de cáscara (mm)		
	Edad	Promedio ± DE	CV (%)	Promedio ± DE	CV (%)	Promedio ± DE	CV (%)
20		52 6	12	4,754 590	12	0,336 0,032	9
30		58 2	3	4,902 686	14	0,346 0,026	8
40		60 3	4	4,769 810	17	0,349 0,039	11
50		62 2	2	4,348 521	12	0,331 0,014	4
60		63 2	3	4,027 582	14	0,353 0,037	11
70		64 3	4	4,036 492	12	0,341 0,030	9
80		66 3	4	4,268 636	15	0,341 0,020	6
90		66 2	2	4,057 456	11	0,347 0,025	7
100		67 2	3	3,767 425	11	0,347 0,024	7
110		67 3	4	3,471 624	18	0,314 0,028	9

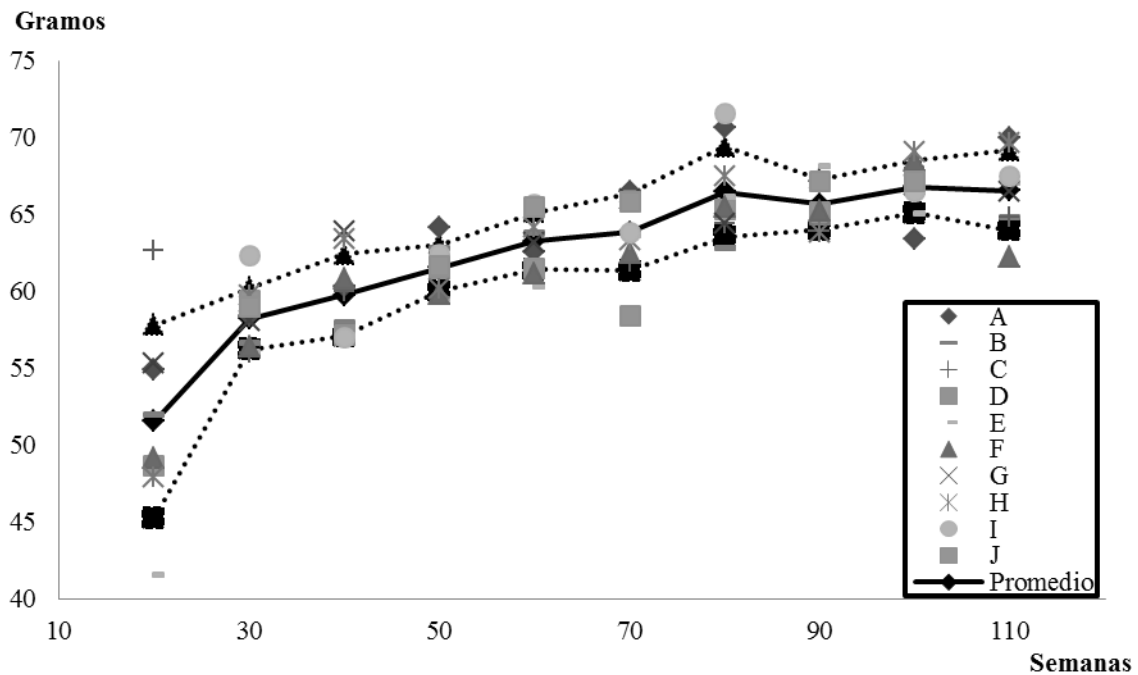


Figura 1: Peso del huevo promedio según edad de aves: empresas A-J y promedio. Las líneas punteadas indican la DE superior e inferior respecto al promedio.

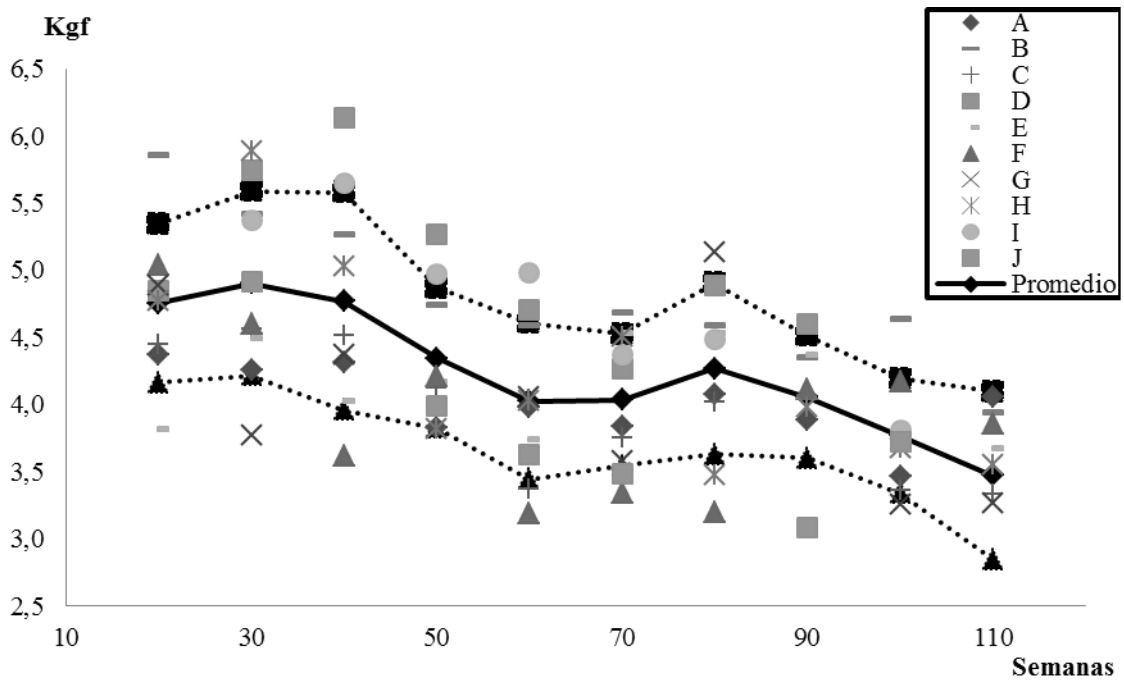


Figura 2: Resistencia de cáscara según edad de aves: empresas A-J y promedio. Las líneas punteadas indican la DE superior e inferior respecto al promedio.

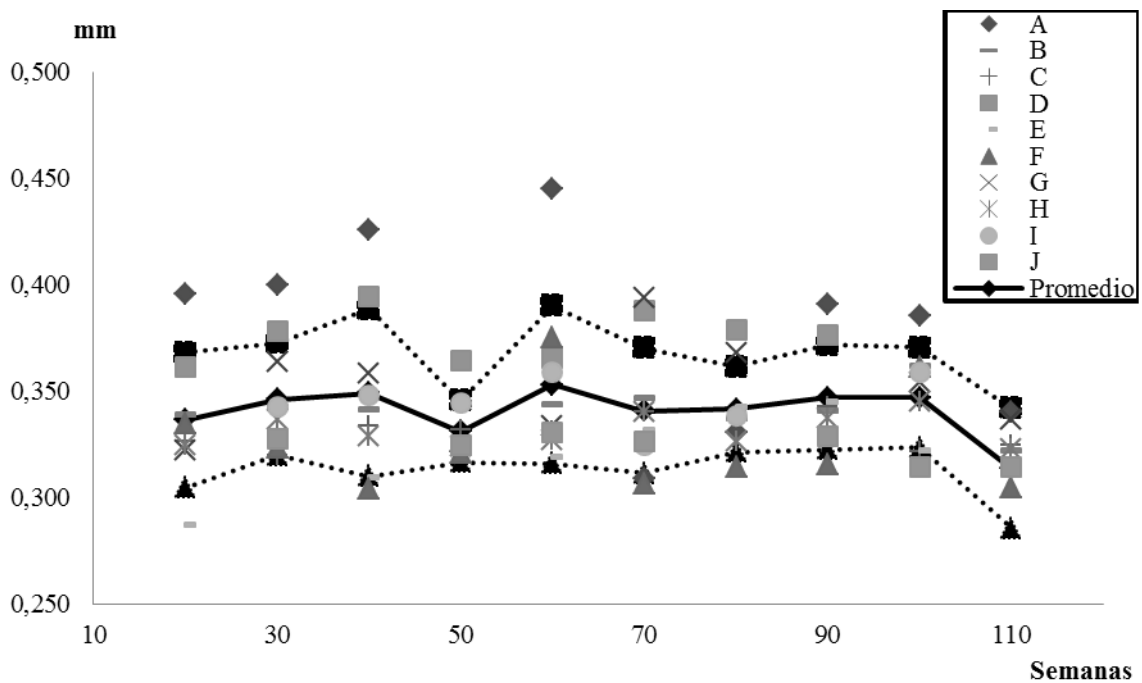


Figura 3: Espesor de cáscara según edad de aves: empresas A-J y promedio. Las líneas punteadas indican la DE superior e inferior respecto al promedio.

Se evaluaron las relaciones entre el promedio de todas las empresas participantes para las distintas variables (edad de las aves, peso del huevo, espesor y resistencia a la fractura de la cáscara) por medio de regresiones lineales y coeficientes de correlación de Pearson. Las representaciones gráficas de las regresiones lineales entre peso promedio del huevo, resistencia y espesor promedio de cáscara en función de la edad de las aves se muestran desde la figura 4 a 6. Además se realizaron las regresiones lineales entre resistencia y espesor promedio de cáscara en función del peso promedio del huevo y de resistencia promedio de cáscara en función del espesor promedio de la misma, las que son representadas gráficamente por las figuras 7, 8 y 9 respectivamente. La regresión lineal del peso promedio del huevo en función de la edad de las aves dio como resultado un $R^2=0,8332$ y un r de $0,913$, en términos simples, un $83,32\%$ del peso del huevo estaría determinado linealmente por la edad de las aves, con una alta asociación positiva entre ambas variables. Respecto a la regresión lineal de la resistencia promedio de cáscara en función de la edad de las aves, se obtuvo un $R^2=0,8511$ y un r de $-0,923$, esto es, un $85,11\%$ de la resistencia de cáscara sería determinada de manera lineal por la edad de las aves con una magnitud de asociación alta y negativa. La regresión lineal del espesor promedio de cáscara en función de la edad de las aves resultó en un $R^2=0,0925$ y un r de $-0,304$, lo que implica que el espesor de cáscara no está relacionado linealmente con la edad de las aves. Además, la asociación existente entre ambas variables es de muy baja magnitud. A partir de la regresión lineal de la resistencia promedio de cáscara en función del peso de los huevos deriva un $R^2=0,6392$ y un r de $-0,800$, es decir, un $63,92\%$ de la resistencia de la cáscara estaría determinada por el peso de los huevos, pero de manera no lineal, a pesar de que la asociación entre ambas variables es alta y negativa. En cuanto a la regresión lineal del espesor promedio de cáscara en función del peso del huevo se obtuvo un R^2 de sólo $0,0063$ y un r de $-0,080$, lo que significa que ambas variables no están relacionadas. Por último, la regresión lineal de la resistencia de cáscara en función del espesor de la misma resultó en un $R^2=0,1566$ y un r de $0,396$, es decir, un $15,66\%$ de la resistencia de cáscara sería determinada por el espesor de la misma, con un grado de asociación muy bajo y positivo.

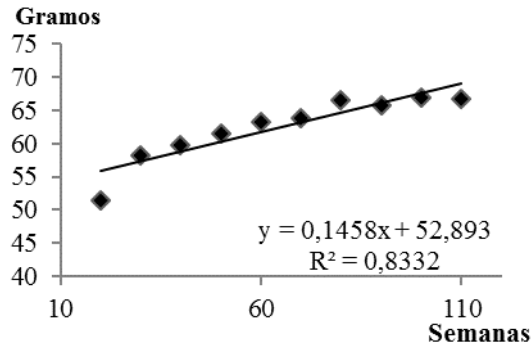


Figura 4: Peso promedio del huevo en función de la edad de las aves.

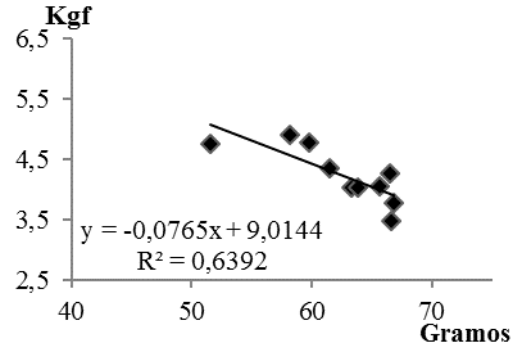


Figura 7: Resistencia promedio del huevo en función del peso promedio de los mismos.

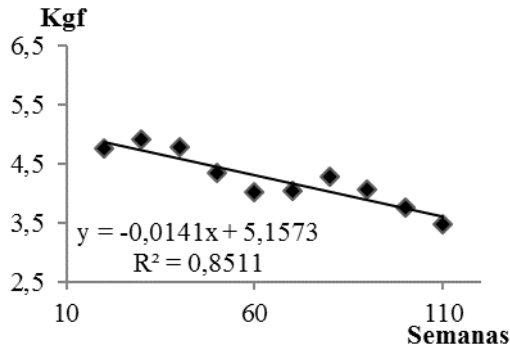


Figura 5: Resistencia promedio del huevo en función de la edad de las aves.

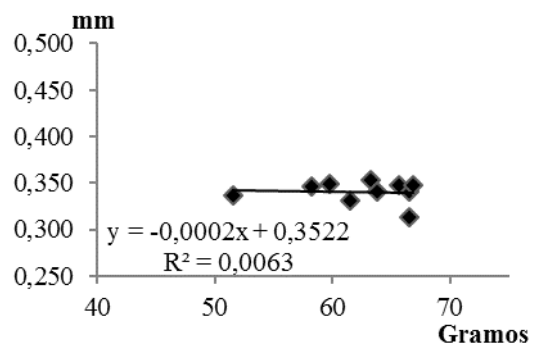


Figura 8: Espesor promedio de la cáscara en función del peso promedio de los huevos.

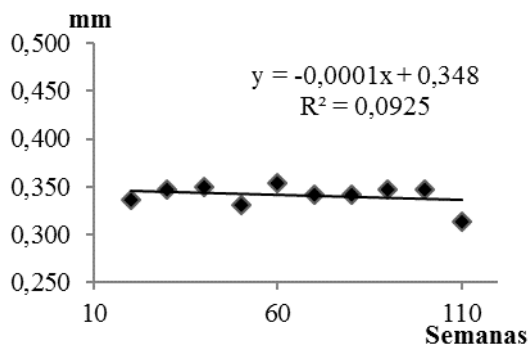


Figura 6: Espesor promedio de cáscara en función de la edad de las aves.

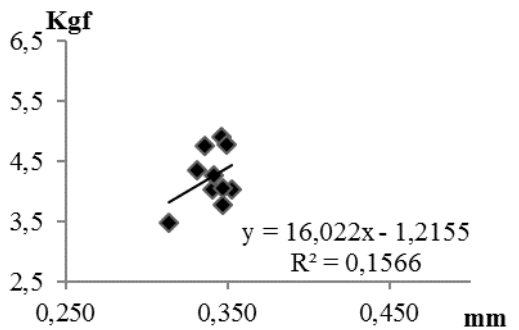


Figura 9: Resistencia promedio del huevo en función del espesor promedio de la cáscara.

Considerando la edad de las aves, peso de los huevos y espesor de cáscara de los mismos como factores determinantes de su resistencia, se realizó una regresión múltiple con sus valores promedios, con el fin de evaluar cuáles, actuando en conjunto sobre la resistencia de cáscara, tendrían una mayor injerencia sobre la misma. Así se concluyó que los componentes determinantes sobre la resistencia del cascarón serían su espesor y la edad de las aves de forma conjunta, con un $R^2= 0,369$, mientras que el peso de los huevos no influiría significativamente sobre esta.

Respecto a la caracterización de la conchuela utilizada por los diversos planteles, se debe tener en consideración que las empresas H, I y J no accedieron a proporcionar muestras para esta etapa del estudio. Por otro lado, las empresas A y D utilizan 2 tipos de conchuela concomitantemente, denominadas como .1 y .2 en ambos casos. La granulometría de conchuela obtenida por las distintas empresas se encuentra en la tabla 7 y está graficada en las figuras 10 a 13, de acuerdo a lo considerado como partícula fina, mediana o gruesa promedio (ver tabla 2), además de lo retenido en bandeja. Un resumen del comportamiento de las conchuelas durante su tiempo de recolección considerando todas las empresas se presenta en la figura 14.

Tabla 7. Porcentaje de conchuela y sus CV por tipo según plantel.

Empresa	A.1	A.2	B	C	D.1	D.2	E	F	G
Conchuela gruesa (%)	51,2	53,5	69,3	71,6	4,2	48,8	54,1	56,7	56,2
CV (%)	24,4	6,3	11,4	18,2	75,8	21	17,6	14,7	18,3
Conchuela media (%)	32,6	31,1	16,9	19,2	44,6	29,9	28,8	22,7	22,4
CV (%)	26,8	12,5	26,6	44,9	21,5	12,6	15,7	7,5	13,7
Conchuela fina (%)	11,4	9,2	12	7,2	49,1	19,5	16,3	18,5	19,4
CV (%)	21	34	60	88	24	40	39	42	48
Bandeja (%)	4,4	4,2	1,4	1,1	2	1,3	1	1,4	0,8
CV (%)	85	101	95	74	48	26	42	59	102

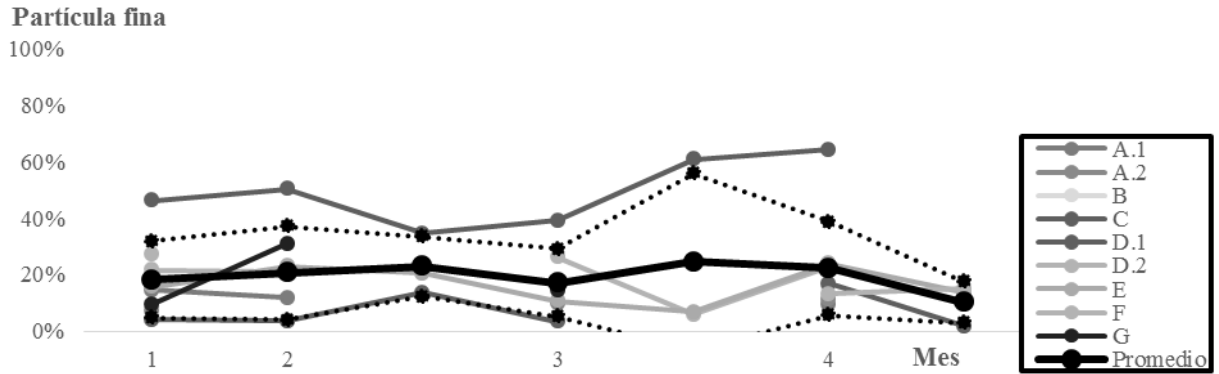


Figura 10: Porcentaje de partícula fina en muestras de conchuela de empresas A, B, C, D, E, F, G y promedio. Las líneas punteadas indican la DE superior e inferior respecto al promedio.

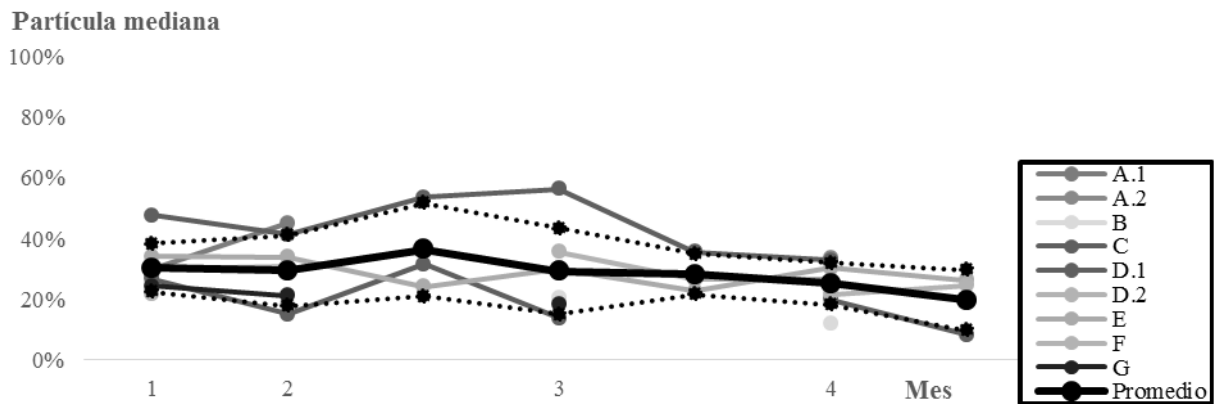


Figura 11: Porcentaje de partícula mediana en muestras de conchuela de empresas A, B, C, D, E, F, G y promedio. Las líneas punteadas indican la DE superior e inferior respecto al promedio.

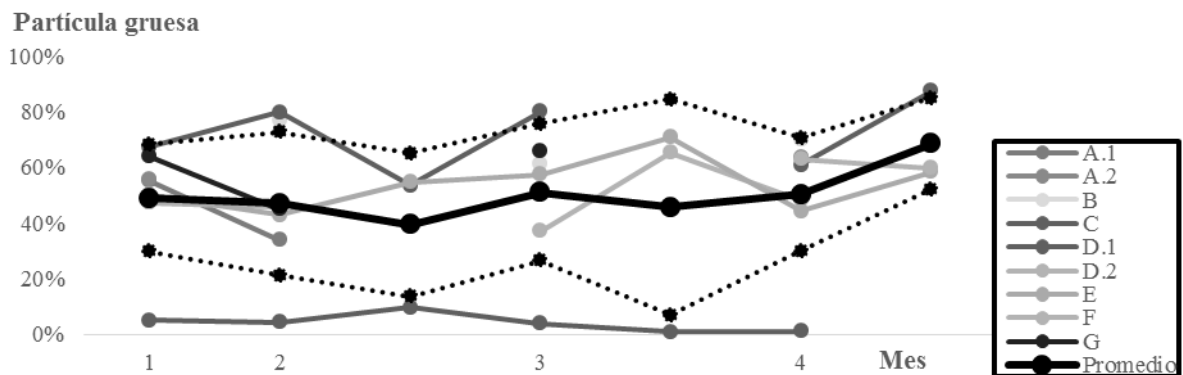


Figura 12: Porcentaje de partícula gruesa en muestras de conchuela de empresas A, B, C, D, E, F, G y promedio. Las líneas punteadas indican la DE superior e inferior respecto al promedio.

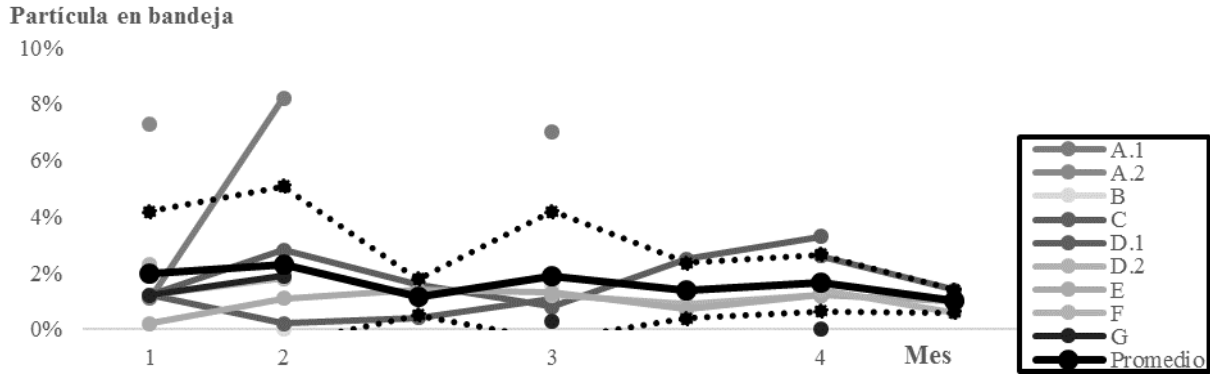


Figura 13: Porcentaje de partícula retenida en bandeja en muestras de conchuela de empresas A, B, C, D, E, F, G y promedio. Las líneas punteadas indican la DE superior e inferior respecto al promedio.

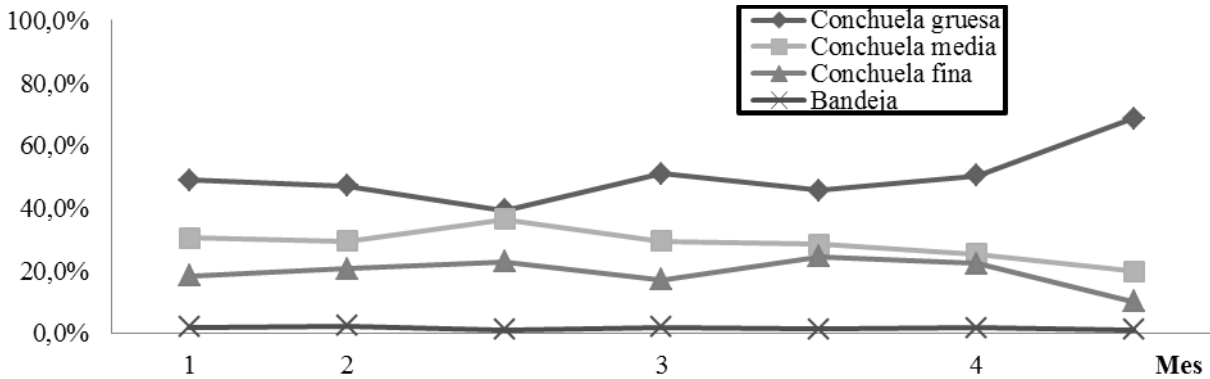


Figura 14: Porcentaje de partícula gruesa, mediana, fina y en bandeja: valores promedio de muestras de conchuela de empresas A, B, C, D, E, F, G.

Las distintas empresas participantes trabajan con diferentes manejos (tabla 9) y líneas genéticas de ponedoras. De acuerdo a las recomendaciones de granulometría de fuente de calcio dadas por cada una de las empresas genéticas, se puede concluir que la empresa A provee en promedio un 52,5% de partículas de calcio gruesas ($\geq 1,7$ mm), cubriendo efectivamente los requerimientos de tamaño de partícula durante el periodo inicial de la postura. No obstante, el suministro de calcio como partículas gruesas es excesivo durante el primer período de vida de las pollitas, pero insuficiente en la fase intermedia de la postura. La empresa B provee en promedio un 69,3% de partículas de calcio gruesas, ajustándose a los requerimientos de tamaño de partícula para ponedoras al inicio de la postura, sin embargo, el contenido de calcio como partícula gruesa es insuficiente para ponedoras de mayor edad. Por otro lado, el plantel C provee en promedio un 71,6% de partículas de

calcio gruesas, lo que representa un exceso para las ponedoras en todas las fases de alimentación. La empresa D provee en promedio un 26% de partículas de calcio gruesas, siendo esta cantidad insuficiente para las aves en todas sus fases. Asimismo, el plantel E provee en promedio un 54,1% de partículas de calcio gruesas, siendo esta cantidad suficiente durante el ciclo de pre postura y primera fase de la misma. No obstante lo anterior, el contenido de calcio como partícula gruesa es excesivo durante el primer período de vida de las pollitas, pero insuficiente desde la fase intermedia de la postura. La empresa F no accedió a entregar información acerca de la línea genética de aves utilizada. La empresa G provee en promedio un 56,2% del calcio como partícula gruesa, cantidad suficiente para cubrir los requerimientos de la fase de pre postura y durante el primer ciclo de la misma. En este caso el contenido de calcio como partícula gruesa es excesivo durante el primer período de vida de las pollitas, pero insuficiente en el segundo ciclo de postura.

Los resultados de contenido de calcio de las conchuelas provistas por cada empresa son presentados en la tabla 8. No se encontraron diferencias significativas entre los valores de contenido promedio de calcio para las distintas muestras. Cabe destacar que los coeficientes de variación para contenido de calcio son casi nulos, por lo que es posible afirmar que la composición química de la conchuela es relativamente estable.

Tabla 8. Contenido de calcio (%) por muestra de conchuela según empresa

Mes	1	2	3	4	Promedio ± DE (%)		CV (%)
A.1	33,9	33,2	33,1	33,5	33,4	0,4	1,08
A.2	32,7	*	*	32,2	32,5	0,3	1,05
B	*	34,6	34,4	32,4	33,8	1,2	3,51
C	34,9	35,8	33,6	34,8	34,8	0,9	2,56
D.1	29,1	30,3	32,4	32,4	31,1	1,6	5,26
D.2	34,8	33,2	34,4	33,6	34,0	0,7	2,17
E	34,0	35,9	34,2	34,0	34,5	0,9	2,61
F	34,4	*	*	35,2	34,8	0,6	1,75
G	34,1	35,2	33,8	33,7	34,2	0,7	2,02
Promedio (%)	33,5	34,0	33,7	33,5	33,7	0,8	2,45
CV (%)	5,30	5,40	2,04	2,98	3,38	46	50,2

* Muestra no proporcionada.

Tabla 9. Caracterización de manejos por plantel: factores nutritivos y no nutritivos con injerencia sobre calidad de cáscara.

Manejo	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Edad de pelecha	70-72 sem.	75 sem.		72 sem.	70 sem.	*	70 sem.	*	*	*
N° de fases de alimentación	4 en 1 ^{er} ciclo y 3 en 2 ^{dº} .	4 (19-25 sem, 26-55 sem, 56-75 sem, 75 sem-fin de postura).	6 en 1 ^{er} ciclo y 4 en 2 ^{do} .	4	5 en crianza, 4 antes de pelecha.	*	*	*	*	*
N° de alimentaciones diarias	2-10	8	1-2	*	9-12	*	14	*	*	*
Alimentación de media noche	Sí.	Sí.	Sí, en altas temperaturas.	No.	Sí.	*	Sí.	*	*	*
Utilización de harina de carne y hueso	Sí, 2-6% de inclusión en dieta.	No.	Sí, 5% de inclusión en dieta.	Sí, 4% de inclusión en dieta.	Sí.	*	Sí, 5% de inclusión en dieta.	*	*	*
Utilización de conchueleros	Sí.	Sí, 1-3 gr/día según edad de las aves.	*	Sí.	Sí.	*	*	*	*	*
Fortificación vitamínica	Sí.	Sí, 80% de lo recomendado=2.000 UI.	No.	No.	Sí.	*	Sí.	*	*	*
Utilización de aditivo para mejorar calidad de cáscara	Sí.	No.	No.	No.	Sí, sobre 55 sem.	*	Sí.	*	*	*
Formulación de dietas es hecha según manual	Sí.	Sí.	*	Sí.	Sí.	*	Sí.	*	*	*
Instalaciones con ambiente controlado	Algunos galpones.	No.	No.	Sí.	Sí.	*	Sí.	*	*	*

* Información considerada confidencial, por lo tanto no entregada.

4. DISCUSIÓN

Al evaluar calidad de cáscara se debe considerar la complejidad de tal acometido, debido a la heterogeneidad del cascarón y a la interacción de las resistencias materiales y estructurales (Carnarius *et al.*, 1996). Por ello es de esperarse que no todas las empresas evaluadas hayan tenido comportamientos similares, particularmente en lo que a espesor y resistencia de cáscara respecta. De acuerdo a De Ketelaere *et al.* (2002) se debe considerar la influencia que tendrían las diferentes líneas genéticas utilizadas por cada plantel. Por ejemplo, la línea de aves Lohmann LSL tiende a producir huevos más pesados versus otras líneas genéticas, o, con respecto al espesor del cascarón, según estudios de los mismos autores, líneas genéticas distintas muestran diferencias significativas en el promedio de espesor, además de presentar diferentes curvas, disminuyendo o manteniéndose constantes a través del tiempo. Por otro lado, la resistencia a la fractura es igualmente variable según línea, pudiendo mantenerse o disminuir a lo largo del ciclo productivo. Dado el carácter de confidencialidad del presente trabajo, no fue posible evaluar los diferentes parámetros indicadores de calidad de cáscara respecto a las líneas genéticas de las aves. Sin embargo, para las líneas consideradas dentro de este estudio se obtuvo de manera general un comportamiento descendente en cuanto a resistencia a la fractura de la cáscara. No obstante lo anterior, es posible observar que posterior a la semana 70 de postura, se produce un aumento en este parámetro, lo que se explicaría debido a la pelecha, proceso en que los tejidos reproductivos se regeneran (USDA, 2000) y por ende la calidad del producto mejora.

De Ketelaere *et al.* (2002) realizaron un ensayo similar al presente, en que se obtuvo que el peso del huevo aumentó significativamente con la edad de las aves en todas las líneas genéticas evaluadas, mientras el espesor del cascarón disminuyó de forma leve, resultados semejantes a los encontrados en este trabajo, particularmente en lo que a peso del huevo respecta. Además, para la mayoría de las líneas genéticas evaluadas se obtuvo un comportamiento similar al determinado en este estudio en lo que a resistencia de cáscara respecta: disminuye a medida que el ciclo de postura avanza. Según los mismos autores hay fuerte evidencia de que el peso del huevo no está relacionado con la resistencia a la

fractura, es decir, que los huevos más grandes no son más frágiles que aquellos más pequeños; no obstante, en el presente ensayo sí se encontró una relación inversa entre peso de los huevos y su resistencia. Según Carnarius *et al.* (1996) las características favorables para que un huevo sea resistente se basan en su estructura microscópica, así, cuerpos mamilares bien redondeados que estén en cercana asociación con las fibras de la membrana de la cáscara, sumados a un ancho uniforme de los mismos y a una capa empalizada no porosa de suficiente espesor, sería la conformación ideal para un cascarón de calidad. De esta forma, de acuerdo a estudios del mismo autor, si las columnas de calcita (capa empalizada) que se depositan sobre los cuerpos mamilares se encontrasen con cierta porosidad, dispuestas en pendiente o incompletas debido a una falla en la calcificación, se debilitaría la estructura de la cáscara, lo que también ocurriría en los casos en que los cuerpos mamilares estuviesen conformados de manera desorganizada e inestable. Así es posible explicar el hecho de que el espesor del cascarón no presenta altas correlaciones con los otros métodos de evaluación de calidad de cáscara, ya que su ultraestructura más que su espesor, es determinante para las otras características, particularmente en lo que respecta a la capa empalizada.

De Ketelaere *et al.* (2002) plantean que habría una pequeña pero significativa correlación entre el peso del huevo y el espesor del cascarón, con huevos pesados tendiendo a tener cascarones más espesos, lo que no fue comprobable en este estudio. Además, existiría una baja pero significativa correlación negativa entre la edad de las aves y el espesor de cáscara, tendencia no encontrada en este trabajo. De acuerdo a los mismos autores se debe considerar con respecto a la relación entre resistencia a la fractura y espesor del cascarón que el hecho de que el espesor del mismo disminuya durante el período de postura sin producir huevos más débiles (en términos de resistencia a la fractura) apunta al hecho de que los cambios podrían ocurrir en la estructura del cascarón, avalando lo descrito por Carnarius *et al.* (1996). Así, la resistencia a la fractura de un huevo no sólo depende de la forma y espesor de su cáscara, sino que también de la calidad de su construcción. Altuntaş y Şekeroğlu (2008) estudiaron el efecto del índice morfológico en las propiedades mecánicas de huevos blancos provenientes de ponedoras Lohmann de 64 semanas. El índice morfológico se obtiene con las mediciones de largo y ancho del huevo; según la siguiente fórmula:

$$\text{Índice morfológico} = \frac{\text{Ancho del huevo}}{\text{Largo del huevo}} \times 100$$

De esta forma, los investigadores determinaron que la resistencia a la fractura es altamente dependiente del índice morfológico, requiriéndose mayor fuerza para romper huevos con un mayor valor de este. Por ello, la forma del huevo, sumada a su conformación a nivel microscópico son factores importantes a considerar al momento de evaluar su calidad. De acuerdo a Yan *et al.* (2014) se debería tener especial consideración con la uniformidad del espesor del cascarón, característica escasamente evaluada, debido a que juega un rol importante en huevos con cáscaras delgadas ($0,297 \pm 0,018$ mm de espesor promedio) e intermedias ($0,356 \pm 0,020$ mm de espesor promedio), en que, a mayor uniformidad del espesor, mayor es la resistencia del cascarón. Incluso se ha demostrado que huevos de ponedoras Lohmann Brown con cáscaras delgadas pero muy uniformes han resultado ser más resistentes que aquellos con cáscaras de espesores intermedios, pero de baja uniformidad.

Los coeficientes de correlación entre las variables obtenidas en el presente estudio no son del todo similares a aquellos obtenidos por De Ketelaere *et al.* (2002) (tabla 10). Mientras la correlación entre edad de las aves y peso de los huevos en el estudio A fue moderada y positiva, en el presente estudio fue altamente positiva. El mismo comportamiento se da en la relación entre peso de los huevos y resistencia del cascarón, asociación no encontrada en el primer ensayo pero sí en el trabajo actual. La correlación en cuanto a edad de las aves y resistencia de cáscara fue similar en ambos casos, caracterizándose por ser muy alta pero inversa. Empero, una asociación negativa entre edad de las aves y espesor del cascarón fue encontrada en el presente trabajo y no en el estudio A. La correlación peso de los huevos y espesor de cáscara fue débil en ambos estudios. La asociación entre espesor y resistencia del cascarón fue directa y menor en el presente trabajo respecto al anterior.

Tabla 10. Comparación coeficientes de correlación entre estudio actual y anterior.

	Edad		Peso		Resistencia	
	A	B	A	B	A	B
Peso	0,415	0,913				
Resistencia	-0,8	-0,923	-0,0005	-0,800		
Espesor del cascarón	-0,071	-0,304	0,163	-0,080	0,602	0,396

A: De Ketelaere *et al.* (2002), B: Estudio actual.

Se debe tener extremo cuidado con la metodología de evaluación de la calidad del cascarón, particularmente en lo que respecta a resistencia a la fractura, ya que, por lo general, se encuentran disponibles 2 formas de evaluar esta propiedad: aplicando las fuerzas en los polos, o bien en el ecuador. Las implicancias que esto tendría sobre los valores obtenidos radica en una explicación de tipo física, ya que la fuerza requerida para romper el huevo varía según dónde la fuerza es aplicada. Si la fuerza se aplica en los polos, los valores obtenidos serán mayores dado a que la curvatura en esta zona del huevo requiere menos fuerzas estabilizadoras. Por el contrario, si la fuerza es aplicada en el ecuador del huevo, se obtendrán valores más bajos, dadas las altas fuerzas estabilizadoras requeridas para mantener un arco más plano. Esto explica que en estudios como el de Altuntaş y Şekeroğlu (2008) se determinara que la dureza del cascarón a nivel ecuatorial es menor que aquella determinada a nivel de polos. Por otro lado, no todos los equipos utilizan las mismas unidades: algunos miden en peso, otros en N, otros en Kgf y así sucesivamente, por lo que los valores obtenidos no son siempre equiparables (Ar *et al.*, 1979).

Se debe tener en consideración además que existen factores externos con implicancias sobre la calidad de cáscara, más allá de su estructura misma. La heredabilidad por ejemplo es un factor importante, definiendo características como el color del cascarón, su espesor y tamaño del huevo (USDA, 2000; Hunton, 2005). Además, la reducción en la calidad de cáscara es un resultado directo del incremento de la ovoproducción, situación a la que los sistemas productivos están expuestos dada la demanda actual. De igual forma, las condiciones ambientales en que son mantenidas las aves tienen injerencia sobre la calidad de cáscara de los huevos producidos: la temperatura y ventilación son factores de producción críticos, con una temperatura óptima que fluctúa entre los 14 y 26°C. Temperaturas fuera de este rango afectan la conversión de alimentos, por lo tanto, el consumo de agua, la postura y calidad de cáscara (USDA, 2000). Otro agente considerable es la dieta de las aves, ya que se ha demostrado que con el uso de ciertos ingredientes se puede mejorar la calidad del cascarón; de esta forma, Çatlı *et al.* (2012) determinaron que si el calcio es administrado parcialmente como harina de carne y hueso incrementaría su calidad. Esto podría significar que al reemplazar el calcio con fuentes de origen animal se aseguraría la calidad de cáscara en ponedoras de edad avanzada.

Así, y de acuerdo a lo anteriormente mencionado, los principales factores que afectarían la calidad de cáscara son la edad de las ponedoras, ambiente en que son mantenidas (temperatura, humedad, ventilación) alimentación y estado sanitario (USDA, 2000).

Respecto a la granulometría de conchuela, se deben considerar las recomendaciones de las guías de manejo según la línea genética utilizada, recomendaciones que no son puestas en práctica según lo que deriva de este trabajo. No obstante, no se ha demostrado de manera absoluta que el uso de ciertos porcentajes de calcio con determinados tamaños de partícula mejore la calidad de cáscara, debido a que su calidad es dependiente de múltiples factores, por lo que incrementar sólo la calidad de la fuente de calcio no asegura un buen producto final. Así es como Koreleski y Świątkiewicz (2004), Koutolis *et al.* (2009), Pizzolante *et al.* (2011), Cathi *et al.* (2012), Guo y Kim (2012) y Świątkiewicz *et al.* (2015a) han demostrado experimentalmente que el espesor de cáscara mejoraría con ciertos niveles de granulometría de calcio en la dieta, aunque Pelicia *et al.* (2009) y Tunç y Cufadar (2015) no encontraron esta relación en sus estudios. De la misma forma, algunos autores han planteado que por medio de determinada granulometría de calcio se puede modificar el peso del huevo (Cathi *et al.*, 2012; Guo y Kim, 2012; Tunç y Cufadar, 2015) mientras otros sugieren lo contrario (Koreleski y Świątkiewicz, 2004; Koutolis *et al.*, 2009; Pelicia *et al.*, 2009). Por último, la resistencia a la fractura también ha sido un parámetro demostrado y refutado como susceptible a las diferentes granulometrías. Así, Koreleski y Świątkiewicz (2004), Koutolis *et al.* (2009), Cathi *et al.* (2012), Guo y Kim (2012) y Świątkiewicz *et al.* (2015a) han determinado que según la granulometría de calcio utilizada se puede mejorar la calidad de cáscara, aunque Pizzolante *et al.* (2011) y Tunç y Cufadar (2015) no han llegado a las mismas conclusiones. Otra posible explicación a los distintos resultados por parte de los diferentes autores, es que hay dos factores que juegan un rol fundamental en la calidad de la fuente de calcio, estos son el contenido de calcio y su solubilidad. En cuanto a los resultados de contenido de calcio obtenidos en el presente trabajo, es posible determinar que se encuentran por debajo de lo establecido por otros autores para la conchuela. Por ejemplo, Pizzolante *et al.* (2011) determinaron que un 36,4% de la conchuela está compuesta por calcio, mientras que Cathi *et al.* (2012) y Ahmed *et al.* (2013) encontraron un 37,4% y 39,5%, respectivamente. La solubilidad de la conchuela bordea un 46% según Pizzolante *et al.* (2011), aunque tal característica no fue materia de este artículo.

5. CONCLUSIONES

Los resultados de la evaluación de la calidad de cáscara varían según la metodología y característica evaluada. Se debe considerar que muchas de estas variaciones se deben a cambios en la ultraestructura del cascarón, los que hasta el día de hoy son difíciles de pesquisar a nivel industrial.

El peso del huevo y resistencia a la fractura de la cáscara presentan un alto coeficiente de determinación y correlación al ser evaluados en función de la edad de las aves. La resistencia en función del peso del huevo resultó en valores similares en cuanto a coeficiente de correlación respecta. Los componentes determinantes sobre la resistencia del cascarón son su espesor y la edad de las aves de forma conjunta.

Las empresas evaluadas no cumplen con los requerimientos de granulometría de conchuela recomendados por las empresas proveedoras de genética.

Los valores de calcio de conchuela variaron desde un 29,1% hasta un 35,9%, pero en general se mantienen relativamente estables.

Para poder realizar una correlación entre granulometría de conchuela y calidad del cascarón se deben realizar estudios bajo condiciones controladas, análogo realizado por Koreleski y Świątkiewicz (2004) con granulometría en piedra caliza, con el fin de conocer las proporciones ideales de conchuela fina y gruesa según la realidad de esta fuente de calcio a nivel nacional.

Las empresas deben evaluar y adecuar los niveles de granulometría de conchuela entregada a las aves según las recomendaciones de la guía de manejo de la respectiva línea genética utilizada, con el fin de cubrir los requerimientos de calcio de manera adecuada.

Se recomienda a los productores realizar análisis de conchuela similares a los desarrollados en este estudio con el fin de pesquisar la calidad de la misma, antes de incluirla en la formulación de dietas.

6. BIBLIOGRAFÍA

AHMED, N.; ABDEL, K.; ELAMIN, K.; DAFALLA, K.; MALIK, H.; DOUSA, B. 2013. Effect of Dietary Calcium Sources on Laying Hens Performance and Egg Quality. *JAPA*. 3(7): 226-231.

ALTUNTAŞ, E.; ŞEKEROĞLU, A. 2008. Effect of egg shape index on mechanical properties of chicken eggs. *J. Food. Eng.* 85(4): 606–612.

AR, A.; RAHN, H.; PAGANELLI, CH. 1979. The avian egg: mass and strength. *Condor*. 81(4): 331-337.

BOZKURT, M.; ALÇIÇEK, A.; ÇABUK, M. 2004. The effect of dietary inclusion of meat and bone meal on the performance of laying hens at old age. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 34(1): 31-36.

CARNARIUS, K. M.; CONRAD, K. M.; MAST, M. G.; MACNEIL, J. H. 1996. Relationship of Eggshell Ultrastructure and Shell Strength to the Soundness of Shell Eggs. *Poult. Sci.* 75(5):655-663.

ÇATLI, A.; BOZKURT, M.; KÜÇÜKYILMAZ, K.; ÇINAR, M.; BINTAŞ, E.; ÇÖVEN, F.; ATIK, H. 2012. Performance and egg quality of aged laying hens fed diets supplemented with meat and bone meal or oyster shell meal. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 42(1): 74-82.

CFSPH. Center for Food Security and Public Health, Iowa State University of Science and Technology; **USDA.** U.S. Department of Agriculture. 2013. Poultry Industry Manual. 174 p.

DE KETELAERE, B.; GOVAERTS, T.; COUCKE, P.; DEWIL, E.; VISSCHER, J.; DECUYPERE, E.; DE BAERDEMAEKER, J. 2002. Measuring the eggshell strength of 6 different genetic strains of laying hens: Techniques and comparisons. *Br. Poult. Sci.* 43(2): 238-244.

- GIACOMOZZI, J.** 2014. Panorama y actualización del mercado del huevo. [en línea]. (ODEPA). 6 p. <http://www.odepa.cl/wp-content/files_mf/1418835552huevos.pdf> [consulta: 28-02-2015].
- GUO, X.; KIM, I.** 2012. Impacts of Limestone Multi-particle Size on Production Performance, Egg Shell Quality, and Egg Quality in Laying Hens. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 25(6): 839-844.
- INE.** Instituto Nacional de Estadísticas. 2014. Agropecuarias, Informe anual 2013. Santiago, Chile. 160 p.
- HUNTON, P.** 2005. Research on eggshell structure and quality: An historical overview. *Rev. Bras. Cienc. Avic.* 7(2): 67-71.
- HY-LINE.** 2016. Guía de Manejo Ponedoras Comerciales W-36. 41 p.
- ISA.** 2009-2010. Bovans White, Guía de Manejo de la Nutrición de Ponedoras Comerciales. Boxmeer, Holanda. 24 p.
- JONES, D.; MUSGROVE, M.** 2005. Effects of extended storage on egg quality factors. *Poult. Sci.* 84(11):1774-1777.
- KORELESKI, J.; ŚWIĄTKIEWICZ, S.** 2004. Calcium from limestone meal and grit in laying hens diet – effect on performance, eggshell and bone quality. *J. Anim. Feed Sci.* 13(4):635-645.
- KOUTOULIS, K.; KYRIAZAKIS, I.; PERRY, G.; LEWIS, P.** 2009. Effect of Different Calcium Sources and Calcium Intake on Shell Quality and Bone Characteristics of Laying Hens at Sexual Maturity and End of Lay. *Int. J. Poult. Sci.* 8 (4): 342-348.
- LIM, H.; NAMKUNG, H.; PAIK, I.** 2003. Effects of phytase supplementation on the performance, egg quality, and phosphorous excretion of laying hens fed different levels of dietary calcium and non phytate phosphorous. *Poult. Sci.* 82(1): 92-99.
- LOHMANN TIERZUCHT.** 2016. Lohmann LSL-Lite Layers, Management Guide, Cage Housing. Cuxhaven, Alemania. 41 p.
- NRC.** National Research Council. 1994. Nutrient Requirements of Poultry. 9a rev. ed. National Academy of Science. Washington DC, USA. 157 p.

PANHELEUX, M.; BAIN, M.; FERNANDEZ, M.S.; MORALES, I.; GAUTRON, J.; ARIAS, J.L.; SOLOMON, S.E.; HINCKE, M.; NYS, Y. 1999. Organic matrix composition and ultrastructure of eggshell: a comparative study. *Br. Poult. Sci.* 40(2): 240-252.

PELICIA, K.; GARCIA, E.; MÓRI, C.; FAITARONE, A.; SILVA, A.; MOLINO, A.; VERCESE, F.; BERTO, D. 2009. Calcium Levels and Limestone Particle Size in the Diet of Commercial Layers at the End of the First Production Cycle. *Rev. Bras. Cienc. Avic.* 11(2): 87-94.

PIZZOLANTE, C.; KAKIMOTO, S.; SALDANHA, E.; LAGANÁ, C.; SOUZA, H.; MORAES, J. 2011. Limestone and Oyster Shell for Brown Layers in Their Second Egg Production Cycle. *Rev. Bras. Cienc. Avic.* 13(2): 103-111.

SERNAGEOMIN. Servicio Nacional de Geología y Minería. 2014. Estadística Nacional de Producción Minera por Recurso. *In:* Anuario de la minería de Chile 2013 (versión corregida). Ministerio de Minería. Santiago, Chile. pp. 35-114.

ŚWIĄTKIEWICZ, S.; ARCZEWSKA-WŁOSEK, A.; KRAWCZYK, J.; PUCHAŁA, M.; JÓZEFIAK, D. 2015a. Effects on performance and eggshell quality of particle size of calcium sources in laying hens' diets with different Ca concentrations. *Arch. Anim. Breed.* (58)2: 301-307.

ŚWIĄTKIEWICZ, S.; ARCZEWSKA-WŁOSEK, A.; KRAWCZYK, J.; PUCHAŁA, M.; JOZEFIAK D. 2015b. Dietary factors improving eggshell quality: an updated review with special emphasis on microelements and feed additives. *Worlds Poult. Sci. J.* 71(1): 83-93.

TUNÇ, A.; CUFADAR, Y. 2015. Effect of Calcium Sources and Particle Size on Performance and Eggshell Quality in Laying Hens. *TURJAF.* 3(4): 205-209.

USDA. 2000. Egg-Grading Manual, Agricultural Handbook Number 75. 50 p.

YAN, Y.; SUN, C.; LIAN, L.; ZHENG, J.; XU, G.; YANG, N. 2014. Effect of Uniformity of Eggshell Thickness on Eggshell Quality in Chickens. *J. Poult. Sci.* (51)3: 338-342.

ZAMBRANO, M.; ZELADA, Y. 2007. Economía Minera No Metálica en la comuna de Coquimbo. Sustentabilidad y Proyecciones Comerciales de la Industria del Carbonato de Calcio. Trabajo de Titulación Ingeniero Comercial. La Serena, Chile. Universidad de La Serena, Facultad de Ciencias Sociales y Económicas. 187 p.

ZHANG, B.; COON, C. 1997. The Relationship of Calcium Intake, Source, Size, Solubility In Vitro and In Vivo, and Gizzard Limestone Retention in Laying Hens. Poultry Science. 76(12):1702-1706.