



Universidad Nacional  
**SAN LUIS GONZAGA**



## **Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional**

Esta licencia es la más restrictiva de las seis licencias principales Creative Commons, permitiendo a otras solo descargar sus obras y compartirlas con otras siempre y cuando den crédito, pero no pueden cambiarlas de forma alguna ni usarlas de forma comercial.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>



CONSTANCIA DE REVISIÓN

El que suscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud a la Tesis cuyo título es:

**"Evaluación comparativa de la calidad de la cáscara de huevo de gallinas de postura en diferentes edades."**

presentado por:

**YARMAS SALINAS MANUEL ENRIQUE.**

**Estudiante** del nivel **PREGRADO** de la Facultad de **MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA**. El resultado obtenido es 20% por el cual se otorga el calificativo de: **APROBADO**, según Reglamento de Evaluación de la Originalidad.

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Observaciones: Ninguna

Ica, 16 de mayo del 2025

.....  
**Dra. María Emilia Dávalos Almeyda**  
Directora de Unidad de Investigación  
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

**UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA”**

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN**

**Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia**



**Evaluación comparativa de la calidad de la cáscara de huevo de gallinas de postura en diferentes edades**

Línea de investigación de la Universidad:

Salud pública y conservación del medio ambiente

**INFORME FINAL DE TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

**AUTOR**

Manuel Enrique Yarmas Salinas

**ASESOR**

ELIAS SALVADOR TASAYCO, PhD.

**ICA, Perú**

**2024**

## **DEDICATORIA**

La presente tesis se la dedico a mis padres por brindarme su apoyo y amor incondicional en los momentos más difíciles, han sido un pilar fundamental para poder culminar mi carrera universitaria.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco en primer lugar a DIOS quien me ha guiado y dado la fortaleza para seguir adelante. A mis padres por su apoyo, comprensión y estímulo constante, sin ustedes, todo esto no habría sido posible. También expreso mi gratitud a mis hermanas que siempre estuvieron aconsejándome en ser mejor cada día y a mis docentes que compartieron sus conocimientos en este viaje académico.

## INDICE DE CONTENIDOS

		Pág.
	Títulos y subtítulos	
	Dedicatoria	I
	Agradecimiento	II
	Índice de contenidos	III
	Índice de tablas	IV
	Índice de figuras	V
	Índice de anexos	VI
	Resumen	VII
	Abstract	VIII
I	Introducción	10
II	Estrategia metodológica	14
	2.1 Nivel y tipo de investigación	14
	2.2 Lugar y fecha de ejecución del experimento	14
	2.3 Localización geográfica y meteorológica	14
	2.4 Materiales y equipo	15
	2.5 Etapa previa al experimento	16
	2.6 Alimentación y formulación de las dietas	17
	2.7 Programa sanitario y de manejo	17
	2.8 Variables de evaluación	17
	2.9 Diseño experimental de la investigación	18

2.10	Tratamientos experimentales	18
2.11	Técnicas e instrumento de recolección de datos	18
2.12	Análisis estadístico	18
III	Resultados	19
IV	Discusión	23
V	Conclusiones	28
VI	Recomendaciones	29
VII	Referencias bibliográficas	30
VIII	Anexos	34

## INDICE DE TABLAS

<b>N°</b>		<b>Pág.</b>
<b>01</b>	Efecto de la edad sobre peso de huevo, grosor de cáscara y resistencia a la rotura de cáscara de huevo de gallinas de postura	<b>19</b>
<b>02</b>	Efecto de la edad sobre peso de cáscara, peso relativo (PR) de cáscara y ceniza de cáscara de huevo de gallinas de postura	<b>20</b>
<b>03</b>	Efecto de la edad sobre gravedad específica, índice de cáscara y color de cáscara de cáscara de huevo de gallinas de postura	<b>21</b>
<b>04</b>	Correlación y ecuaciones de regresión de la edad de las gallinas (semanas) y las características de cáscara de huevo de gallinas de postura	<b>22</b>

## INDICE DE ANEXOS

N°		Pág.
01	Fórmulas de las dietas utilizadas	34
02	Resultado de análisis estadístico	35
03	Fotos del desarrollo del experimento	57

## RESUMEN

### **Evaluación comparativa de la calidad de la cáscara de huevo de gallinas de postura en diferentes edades**

**INTRODUCCIÓN:** las líneas genéticas de gallinas de postura han mejorado su respuesta productiva y calidad de huevo, sin embargo, conforme avanza la edad la calidad de la cáscara de huevo es afectada. La calidad de cáscara es de importancia para la economía de la avicultura y la seguridad alimentaria de la población, no se tiene información precisa bajo nuestras condiciones sobre estos cambios que es necesario evaluar. **OBJETIVO:** El objetivo del estudio fue determinar el efecto de la edad sobre la calidad de cáscara del huevo y la relación estadística con las características de calidad de cáscara. **MÉTODOS:** Se utilizaron 60 gallinas de postura de la línea Lohmann Brown de 57 semanas de edad. Se establecieron 5 edades de medición: 57, 63, 69, 75 y 81 semanas de edad de las gallinas. Se tomaron en cuenta 5 repeticiones por cada semana de medición. Cada repetición estuvo conformada por 12 gallinas. Se evaluaron las variables de peso de huevo, grosor de cáscara, resistencia a la rotura de cáscara, peso de cáscara, peso relativo de cáscara, contenido de cenizas de cáscara, gravedad específica, índice de cáscara e intensidad de color de cáscara marrón. **RESULTADOS:** Los resultados encontrados indican que la edad afecta significativamente ( $P < 0.05$ ) las características de la cascara, aumentando el peso de huevo, peso de cáscara y índice de cascara, mientras que disminuye el grosor, resistencia a rotura y color de cascara y se mantiene el peso relativo de cascara, contenido de ceniza y la gravedad específica. Se encontró relación significativa de la edad con las características de la cáscara especialmente peso de huevo, grosor y resistencia a rotura de cáscara. **CONCLUSIÓN:** las características de calidad de cáscara son afectadas conforme avanza la edad de las gallinas y la edad tiene una relación positiva con el peso de huevo y negativa con el grosor y resistencia a la rotura de cascara.

**Palabras claves:** cascara huevo, edad, peso huevo, grosor cascara

## ABSTRACT

" Comparative evaluation of eggshell quality in laying hens at different ages”

**INTRODUCTION:** Genetic lines of laying hens have improved their productive response and egg quality, however, as age advances, eggshell quality is affected. Shell quality is important for the economy of poultry farming and food security of the population, there is no precise information under our conditions on these changes that need to be evaluated. **OBJECTIVE:** The objective of the study was to determine the effect of age on eggshell quality and the statistical relationship with shell quality characteristics. **METHODS:** 60 57-week-old laying hens of the Lohmann Brown line were used. 5 measurement ages were established: 57, 63, 69, 75 and 81 weeks of age of the hens. 5 repetitions were taken into account for each week of measurement. Each repetition consisted of 12 hens. The variables of egg weight, shell thickness, shell breaking strength, shell weight, relative shell weight, shell ash content, specific gravity, shell index and brown shell color intensity were evaluated. **RESULTS:** The results found indicate that age significantly affects ( $P<0.05$ ) the characteristics of the shell, increasing the egg weight, shell weight and shell index, while decreasing the thickness, breaking strength and shell color and maintaining the relative shell weight, ash content and specific gravity. A significant relationship was found between age and shell characteristics, especially egg weight, thickness and shell breaking strength. **CONCLUSION:** Shell quality characteristics are affected as the age of the hens advances and age has a positive relationship with egg weight and negative with thickness and shell breaking strength.

**Keywords:** egg shell, age, egg weight, shell thickness

## I. INTRODUCCIÓN

A nivel de las crianzas comerciales se observa que en general la calidad de cascara de huevo va disminuyendo conforme avanza la edad de las gallinas lo que afecta la cantidad de huevos aptos para la comercialización y como consecuencia una reducción de la rentabilidad económica de la industria avícola. Si bien existen diferentes factores que conllevan a reducir la calidad de la cascara, la edad es un factor importante. Sin embargo, cuantitativamente no existe información precisa relacionado al impacto de la edad sobre las principales características de calidad de huevo. Esta información es muy relevante ya que a partir de estos datos nos permitirá establecer estrategias y programas para reducir este impacto y mejorar la calidad de la cascara conforme aumenta la edad de las gallinas de postura.

La pérdida por cáscara de huevo dañada representa del 8 al 11% de la pérdida total de huevos (1). Según, Zita *et al.* (2) observaron una disminución del 7 % en el grosor de la cascara y del 8 % en la resistencia a la rotura de cascara entre las 30 y las 60 semanas de edad de las gallinas.

La edad es uno de los principales factores internos que influye en la calidad de los huevos de las gallinas de postura (3). La cáscara del huevo se vuelve gradualmente más delgada con la edad, por lo que la proporción porcentual de la cáscara del huevo también está disminuyendo (4)

Se observan importantes pérdidas económicas durante la manipulación y el transporte rutinarios desde el productor hasta los puntos de venta al por menor (5)

Aproximadamente del 6 al 8% de la producción total de huevos no es utilizable o comercializable debido a la mala calidad de las cáscaras (6)

El grosor y la resistencia de la cascara a la rotura se ven afectados por el tiempo de paso de los componentes del huevo a través de la glándula de la cascara (útero), la ultraestructura del cascarón (deposición de unidades principales) y la microestructura (tamaño y orientación de los cristales) y los principales factores que determinan la calidad o la estructura de la cáscara del huevo son el tiempo de oviposición, la edad, el genotipo y el sistema de alojamiento (7).

La calidad de la cáscara del huevo es uno de los factores más importantes que afectan a la industria avícola, influye económicamente en la producción de huevos y en la incubabilidad (7).

Los huevos con grietas finas muestran un aumento en la exposición bacteriana, una mayor pérdida de peso de incubación y una disminución en la incubabilidad (56.4 % en comparación con 80.9 %) en comparación con los huevos con cáscara normal (8).

Yamada *et al.* (9), consideran que los cambios en la estructura ósea medular y cortical con la edad siguen sin estar claros, para lo cual realizaron un estudio, utilizando veinte gallinas Hy-Line W36, de 25 o 52 semanas de edad, que fueron sacrificadas y ambas tibias fueron recolectadas cuando había un huevo presente en el magnum. Las secciones transversales en serie de las tibias se tiñeron con azul alcian. Los huesos se escanearon mediante microtomografía computarizada. El ancho trabecular (Tb.Wi) fue significativamente mayor ( $p < 0,05$ ) en gallinas de 25 semanas, mientras que el volumen de tejido óseo medular (TV) fue significativamente mayor ( $p < 0,01$ ) en gallinas de 52 semanas. Las gallinas de 25 semanas de edad tenían una fracción de volumen óseo (BVF = tejido calcificado/TV) significativamente mayor ( $p < 0,01$ ). Además, los parámetros del hueso cortical fueron significativamente más altos (TV y contenido mineral óseo (BMC) en  $p < 0,05$ , y volumen óseo (BV) y BVF en  $p < 0,01$ ) en las gallinas más jóvenes. La porosidad abierta y la porosidad total, que indican menor densidad, fueron significativamente mayores ( $p < 0,01$ ) en las gallinas de mayor edad. Las gallinas más viejas mostraron una TV de la diáfisis tibial significativamente mayor ( $p < 0,01$ ) que las gallinas más jóvenes. Las gallinas más jóvenes tenían BV, BVF y densidad mineral ósea (DMO) significativamente más altos ( $p < 0,01$ ) de la diáfisis tibial. Estos hallazgos revelan que las reducciones en la calidad del hueso medular podrían estar asociadas con niveles bajos de estrógeno relacionados con la edad y la estimulación de la reabsorción ósea osteoclástica por la hormona paratiroidea. La calidad del hueso cortical disminuyó con el agrandamiento de los canales de Havers y la pérdida de volumen, con un período de puesta de huevos más prolongado que condujo a la osteoporosis.

El hueso medular tiene un papel fundamental como reservorio de calcio para la cáscara de huevo (10). El estrógeno es crucial para el desarrollo del hueso medular (9). La hormona paratiroidea (PTH) aumenta en respuesta a niveles bajos de calcio en la sangre debido a la alta demanda de calcio en la calcificación de la cáscara de huevo (11)

Conforme la gallina aumenta en edad se reduce la síntesis de estrógenos por parte de los ovarios, y las gallinas de edad avanzada tienen niveles bajos de estrógenos séricos (12). El volumen óseo medular disminuye con la edad (13). Por lo tanto, los niveles bajos de estrógeno dependientes de la edad podrían inhibir la formación de hueso medular, limitando potencialmente el suministro de calcio para las cáscaras de huevo (9).

Un estudio de Inca *et al.* (14) encontraron que las características de calidad del huevo de las gallinas ponedoras viejas tienen un impacto negativo en la calidad de la cáscara y la albúmina, pero no afectan las características de calidad de la yema. Consideran que las gallinas ponedoras viejas pueden disminuir las características de calidad de la cáscara, como el peso, el grosor y la proporción de la cáscara, debido al aumento del peso y tamaño del huevo (una característica bien conocida del huevo en las gallinas ponedoras viejas). Los investigadores también encontraron una

clara reducción en las características de calidad de la albúmina en las gallinas de edad avanzada. Tanto la unidad Haugh como la altura de la albúmina (características clave de la calidad del huevo) disminuyeron sus mediciones, indicadores de una mala calidad de la albúmina. Este estudio ayuda a comprender que criar gallinas ponedoras por encima de las 80 semanas tendría un impacto negativo en las características de calidad del huevo; comprometiendo tanto la calidad como la eficiencia de la producción de huevos.

Kraus and Zita (15) en la Universidad Czech, realizaron un estudio experimental con el objetivo de evaluar la calidad interna y externa de huevos de consumo de gallinas ponedoras de dos genotipos seleccionados en función de su edad. Todas estas gallinas se mantuvieron en jaulas enriquecidas. Se compararon huevos de gallinas Hy-Line Brown e ISA Brown a la edad de 36 a 64 semanas. En total se evaluaron 3840 huevos de 300 gallinas. La calidad de los huevos estuvo determinada por su valor tecnológico. Se encontraron interacciones estadísticamente significativas ( $P = 0.001$ ) entre la edad y el genotipo en todos los parámetros evaluados excepto en el color de la yema ( $P = 0.044$ ), mientras que no se encontró interacción ( $P = 0.072$ ) entre la edad y el genotipo en la fuerza de la cáscara. El efecto significativo de la edad de las gallinas se encontró en todos los parámetros evaluados, con la única excepción del color de la yema. Los resultados mostraron que el peso promedio de los huevos, la cáscara, la albúmina y la yema aumentó con la edad. También aumentó la proporción de cáscara de huevo, su color y los valores del índice de yema, mientras que el índice de forma del huevo, el grosor y la fuerza de la cáscara de huevo, la proporción de albúmina, las unidades Haugh, la albúmina y el índice de yema disminuyeron. Se encontró efecto estadísticamente significativo del genotipo en todos los parámetros evaluados excepto en el índice de yema. Al comparar ambos genotipos, los huevos de gallinas ISA Brown tuvieron mejor calidad. Se confirmó la tendencia de deterioro de la calidad del huevo con la edad.

Cuantificar con precisión la variación de la calidad de cascara de huevo en función de la edad de la gallina de postura es de gran importancia desde el punto de vista técnico ya que en base a dicha información permitirá diseñar programas estratégicos para mejorar la calidad de cascara de huevo a nivel comercial de acuerdo a la edad de las gallinas de postura.

Tener información cuantitativa acerca de cuanto afecta la edad en esta línea genética permite generar conocimientos para utilizarlo como referencia técnica en crianzas comerciales.

Este estudio tendrá un impacto económico ya que conociendo con precisión esta relación de la edad y calidad de cascará permitirá elaborar estrategias técnicas para reducir el impacto y como consecuencia habrá una mejora económica. Los resultados de este estudio tendrán una utilidad práctica para los avicultores a nivel comercial.

La línea genética LOHMANN Brown de huevos de cáscara marrón es una principal línea de crianza bajo nuestras condiciones y está teniendo aceptación en el consumidor, por lo que se requiere generar información para una mejor estrategia nutricional que servirá para la avicultura local y nacional.

La calidad del huevo es uno de los requisitos más importantes del mercado actual para garantizar la integridad del huevo y reducir la cantidad de huevos perdidos en el camino hacia el consumidor (16).

Las características de estabilidad de la cáscara del huevo juegan un papel importante porque solo los huevos con la cáscara intacta se consideran vendibles. Por lo tanto, si se garantiza la calidad del huevo y, específicamente, la estabilidad de la cáscara, la industria de ponedoras podría aumentar la cantidad de huevos comercializables producidos por cada gallina alojada (16).

La hipótesis del presente estudio fue que la edad afecta las características de la calidad de la cascara de huevo, reduciéndolo significativamente y que existe una relación estadística significativa de la edad con las características de la calidad de cáscara de huevo de gallinas de postura. El objetivo del estudio fue determinar el efecto de la edad sobre la calidad de cáscara del huevo y la relación estadística con las características de calidad de cáscara.

## II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

### **Edad de las gallinas:**

Las evaluaciones se realizaron en las mismas gallinas en las siguientes edades (semanas):

57

63

69

75

81

### **Periodo de duración del experimento:**

El experimento tuvo una duración de 24 semanas, desde los 57 a las 81 semanas de edad de las gallinas de postura.

La investigación total comprendió un periodo de adaptación, procesamiento de datos, análisis estadístico y elaboración del informe final, de acuerdo con la normativa vigente que debe considerar 4 meses como mínimo.

**Inicio de la investigación:** septiembre del 2022

**Término de la investigación:** abril del 2023

### **Nivel de investigación:**

Investigación aplicada

### **Tipo de investigación:**

Investigación experimental

### **Tamaño de muestra de gallinas utilizadas**

Se utilizaron 60 gallinas de postura de las líneas genéticas: LOHMANN Brown. El cálculo de la muestra se realizó utilizando el software GRAMNO (2022):

Dónde:

$Z\alpha$  = valor de Z correspondiente al riesgo  $\alpha$  fijado = 0.05 (1.645);

$Z\beta$  = valor de Z correspondiente al riesgo  $\beta$  fijado = 0.20 (0.842);

S = desviación estándar (\*) =  $\pm 1.5$  (peso de cascara)

(\*) = El valor referencial de desviación estándar de la variable peso de cascara (g/g) se obtuvo de un estudio piloto previo en el galpón experimental (2022).

d = valor mínimo de la diferencia en el peso de cáscara que se desea detectar =3

Proporción prevista de pérdidas de seguimiento = 20%

Tipo de contraste bilateral

Según el cálculo ejecutado y aceptando un riesgo de 0.05 y un riesgo beta de 0.2 en un contraste bilateral, se precisan 8 gallinas de postura en cada grupo para detectar una diferencia mínima de 3 g entre dos grupos, asumiendo que existen 5 grupos como tratamientos (edades de medición) y una desviación estándar de 1.5 lo que da un valor de 40, pero se aumentó a 60 gallinas de postura en total utilizado.

### **Técnicas e instrumentos de la recolección de información**

**a. Observación:** desde el inicio del experimento todas las unidades experimentales fueron manejadas y verificadas que se cumpla con el consumo de alimento, ventilación del ambiente, estado sanitario de las aves, temperatura del galpón, características de las heces, mortalidad entre otros factores.

**b. Registros:** consiste en registrar todos los datos que corresponde a las variables dependientes en estudio relacionado a las características de calidad de cascara que se realizó cada 3 semanas.

**c. Hojas de cálculo de Excel:** se utilizaron las hojas de cálculo de Excel para efectos de estimar y calcular los indicadores de los datos primarios de calidad de cascara medido a nivel del laboratorio.

**d. Tablet:** este dispositivo será utilizado para registrar, almacenar y realizar los cálculos de los datos tabulados de calidad de cáscara.

### **Lugar y fecha de ejecución**

El presente experimento se llevó a cabo en la unidad de investigación, enseñanza y extensión en gallinas de postura y el Laboratorio de Investigación en Nutrición R & D de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional “San Luis Gonzaga” - ICA – Ex - Fundo Hijaya Chincha – Ica – Perú.

### **Localización geográfica y meteorológica**

La ciudad de Chincha está ubicada a 188 kilómetros al sur de Lima, sobre los 94 m s. n. m. Con una latitud de 13°27'00'' S y longitud de 76°08'00'' O. Una temperatura mínima promedio de 19.25°C y temperatura máxima promedio de 26.95°C. Humedad relativa mínimo promedio de 58.75 % y humedad relativa máxima promedio de 93.25 % (Estación Meteorológica de Chincha, FONAGRO (20).

### **Materiales y equipo**

a. Instalaciones y jaulas

El material de cada corral es malla metálica. Cada uno de los casilleros tiene sus bebederos y comederos individuales

b. Equipos:

- Balanza analítica
- Estufa
- Mufla
- Equipo medidor de huevo (DET 6500)
- Micrómetro digital

### **Alimentación y formulación de las dietas**

Se formuló una sola dieta basal estándar (Anexo). Las especificaciones de los nutrientes estuvieron de acuerdo con las recomendaciones de la línea genética de gallinas de postura LOHMANN Brown.

Para la elaboración de la fórmula de la dieta balanceada se utilizó el Software de formulación Animal Feed Optimization Software (AFOS, 2021) y el LP máxima rentabilidad (21).

### **Definición teórica de la dieta**

Dieta: es una dieta con nivel de energía y nutrientes de acuerdo con el requerimiento de la línea genética y edad correspondiente.

### **Programa sanitario y de manejo**

Todas las aves en prueba recibieron un programa sanitario, alimentación, manejo y condiciones ambientales similares, siguiendo los protocolos que normalmente se emplean bajo las condiciones de granja.

### **Variables de evaluación:**

#### **Variable independiente**

##### **a. Edad de las gallinas de postura:**

- 57, 63, 69, 75 y 81 semanas de edad (mediciones)

#### **Variables independientes**

##### **a. Características externas de calidad de cáscara de huevo**

**1.- Grosor de cáscara (mm):** Se mide el grosor de tres trozos de cáscara, uno por cada uno de los dos extremos (extremo ancho y estrecho) y uno en la parte ecuatorial, se midió con el equipo portátil micrómetro digital (MITUTOYO 547-360, Kawasaki, Japan) con precisión de  $\pm 0.01$  mm. Las medidas se realizaron en el extremo romo, el medio ecuatorial y el extremo puntiagudo del huevo. Luego se calculó el espesor de la cáscara como un promedio de tres lecturas

2.- **Peso de cáscara (g/huevo).** La membrana de la cubierta interna se retira de las cáscaras y se mantiene seca al aire libre durante 24 h. Todas las cáscaras secas se pesarán con la ayuda de una balanza digital.

3.- **Peso relativo de cascara (g/100g).** El peso de la cáscara se divide por el peso del huevo para obtener el peso relativo por cada 100 g de peso de huevo.

4.- **Ceniza de cáscara de huevo (g/huevo):** se utilizó una mufla por un periodo de 48 horas a una temperatura de 600 °C.

5.- **Gravedad específica (g/cm<sup>3</sup>).** Se calculó de acuerdo con la ecuación siguiente (17):

$$GE = W / (0.968 W - 0.4759 SW)$$

Dónde:

W = peso de huevo (g)

SW = peso de cascara de huevo (g)

6.- **Índice de cáscara de huevo (g/100 cm<sup>2</sup>).** Se calculó de acuerdo con la ecuación siguiente (18):

$$I = (C/S) \times 100$$

Dónde:

I = Índice de Cáscara del Huevo (g/100 cm<sup>2</sup>)

C = peso de cáscara (g)

S = Superficie de cáscara (cm<sup>2</sup>) = 4.68 x P<sup>2/3</sup> (19)

P = Peso de huevo (g)

7.- **Color de cáscara.** Utilizando un abanico de puntuación de 1 al 10. Indicando 1 un color marrón menos intenso y un valor de 10 de color marrón muy intenso.

### **Análisis estadístico**

Los datos de las variables cuantitativas a evaluar fueron analizados estadísticamente mediante un análisis de varianza (ANOVA) de una sola vía (one-way), incluyendo la edad como factor principal, utilizando el procedimiento GLM del software SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC, 2022, v. 9.4) (22). Las variables no paramétricas fueron analizadas con la prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes.

Los análisis de correlación entre la edad y las características de la calidad de cáscara del huevo se determinaron de acuerdo con el procedimiento PROC CORR de SAS a través de los coeficientes de correlación de Pearson (SAS Institute Inc. 2022).

Cada réplica (5) se consideró como una unidad experimental para todos los análisis. Los análisis de supuestos estadísticos, como la homocedasticidad y la normalidad (valores numéricos de la variable dependiente siguen una distribución o curva normal) y los valores atípicos se verificaron antes del análisis utilizando la prueba de Shapiro-Wilk y la prueba de Levene de los procedimientos UNIVARIATE y GLM de SAS, respectivamente (23).

Se realizaron análisis de comparaciones múltiples utilizando la prueba de Tukey para evaluar la diferencia entre las edades cuando se encuentre diferencias estadísticas significativas (23).

La significación estadística y las tendencias se considerarán en  $P \leq 0.05$  y  $0.05 < P \leq 0.10$ , respectivamente.

Estadística descriptiva (Se considero la media aritmética y desviación estándar en la presentación de los resultados).

### III. RESULTADOS

#### Peso de huevo, grosor de cáscara y resistencia a la rotura de cáscara

En la tabla 1 se presentan los resultados de los valores promedios de las características de peso de huevo, grosor de cáscara y resistencia a la rotura de cáscara. Se observa que existen diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) de las características de huevo entre las diferentes edades. Conforme aumenta la edad en semanas hay un aumento significativo del peso de huevo, una disminución significativa del grosor de cáscara y reducción significativa de la resistencia a la rotura de cáscara (fortaleza).

Tabla 1: Efecto de la edad sobre peso de huevo, grosor de cáscara y resistencia a la rotura de cáscara de huevo de gallinas de postura

Edad (semanas)	Peso huevo (g)	Grosor cáscara (mm)	Resistencia rotura cáscara (KgF)
57 SE	62.83 <sup>d</sup> ±0.42	0.425 <sup>a</sup> ±0.006	4.78 <sup>a</sup> ±0.035
63 SE	64.04 <sup>c</sup> ±0.08	0.414 <sup>ab</sup> ±0.006	4.67 <sup>a</sup> ±0.040
69 SE	64.84 <sup>b</sup> ±0.17	0.404 <sup>bc</sup> ±0.004	4.17 <sup>b</sup> ±0.075
75 SE	65.34 <sup>b</sup> ±0.38	0.397 <sup>c</sup> ±0.009	3.82 <sup>c</sup> ±0.102
81 SE	66.15 <sup>a</sup> ±0.30	0.384 <sup>d</sup> ±0.006	3.46 <sup>d</sup> ±0.059
<b>Probabilidad</b>			
P-value	<.0001	<.0001	<.0001

### **Peso de cáscara, peso relativo de cáscara y ceniza de cáscara**

En la tabla 2 se presentan los resultados de los valores promedios de las características de peso de cáscara, peso relativo de cáscara y ceniza de cáscara. Se observa que existen diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) del peso de cáscara de huevo entre las diferentes edades y el peso relativo y ceniza de cáscara no fueron diferentes estadísticamente. Conforme aumenta la edad en semanas hay un aumento significativo del peso de cáscara, mientras que el peso relativo de cáscara y ceniza de cáscara se mantuvieron constante.

Tabla 2: Efecto de la edad sobre peso de cáscara, peso relativo (PR) de cáscara y ceniza de cáscara de huevo de gallinas de postura

<b>Edad (semanas)</b>	<b>Peso cáscara (g)</b>	<b>PR cáscara (g/100g)</b>	<b>Ceniza de cáscara (g/100g)</b>
<b>57 SE</b>	6.47 <sup>d</sup> ±0.098	10.30 ±0.19	95.07 ±0.54
<b>63 SE</b>	6.59 <sup>c</sup> ±0.019	10.29 ±0.02	94.63 ±0.65
<b>69 SE</b>	6.68 <sup>b</sup> ±0.102	10.30 ±0.16	94.84 ±0.53
<b>75 SE</b>	6.80 <sup>b</sup> ±0.231	10.41 ±0.34	95.44 ±0.32
<b>81 SE</b>	7.02 <sup>a</sup> ±0.066	10.61 ±0.09	95.58 ±0.53
<b>Probabilidad</b>			
<b>P-value</b>	<.0001	0.0921	0.0522

### Gravedad específica, índice de cáscara y color de cáscara

En la tabla 3 se presentan los resultados de los valores promedios de las características de gravedad específica, índice de cáscara y color de cáscara. Se observa que existen diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) del índice de cáscara y color de cáscara entre las diferentes edades y la gravedad específica no fue afectada significativamente. Conforme aumenta la edad en semanas hay un aumento significativo del índice de cáscara, mientras que el color de cáscara se redujo significativamente.

Tabla 3: Efecto de la edad sobre gravedad específica, índice de cáscara y color de cáscara de cáscara de huevo de gallinas de postura

Edad (semanas)	Gravedad específica ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	Índice de cáscara ( $\text{g}/100\text{cm}^2$ )	Color de cáscara (score)
57 SE	1.0882 $\pm$ 0.001	8.74 <sup>b</sup> $\pm$ 0.153	7.67 <sup>a</sup> $\pm$ 0.43
63 SE	1.0081 $\pm$ 0.0001	8.78 <sup>b</sup> $\pm$ 0.024	6.66 <sup>b</sup> $\pm$ 0.33
69 SE	1.0081 $\pm$ 0.0009	8.83 <sup>b</sup> $\pm$ 0.138	6.71 <sup>b</sup> $\pm$ 0.45
75 SE	1.0888 $\pm$ 0.001	8.95 <sup>ab</sup> $\pm$ 0.299	6.02 <sup>bc</sup> $\pm$ 0.19
81 SE	1.0899 $\pm$ 0.0005	9.15 <sup>a</sup> $\pm$ 0.083	5.27 <sup>c</sup> $\pm$ 0.56
<b>Probabilidad</b>			
P-value	0.0914	0.0062	0.0003

## Correlación y regresión

En la tabla cuatro se presentan los resultados de correlación y ecuaciones de predicción de la edad de las gallinas y las características de peso de huevo, grosor de cáscara, resistencia a la rotura de cáscara, peso de cáscara, peso relativo de cáscara, gravedad específica, índice de cáscara y ceniza de cáscara.

Existe una correlación fuertemente positiva entre la edad y el peso de huevo. Existe una correlación fuertemente negativa entre la edad y el grosor y resistencia a la rotura de cáscara.

Tabla 4: Correlación y ecuaciones de regresión de la edad de las gallinas (semanas) y las características de cáscara de huevo de gallinas de postura

Variable (X)	Variable (Y)	Ecuación predicción	R <sup>2</sup>	r	P-value
Edad	Peso huevo	55.48+0.132(edad)	0.92	0.96	<.0001
Edad	Grosor cáscara	0.51-0.0016(edad)	0.82	-0.91	<.0001
Edad	RR cáscara	8.19-0.0581(edad)	0.96	-0.98	<.0001
Edad	Peso cáscara	5.21+0.0217(edad)	0.70	0.84	<.0001
Edad	PR cáscara	9.54+0.0121(edad)	0.19	0.48	0.0146
Edad	GE	1.08+0.00006(edad)	0.19	0.48	0.0145
Edad	IC	7.75+0.0165(edad)	0.41	0.66	0.0003
Edad	Ceniza cáscara	93+0.0306 (edad)	0.15	0.43	0.0284

**RR cáscara= resistencia a la rotura de cáscara; GE=gravedad específica; IC= índice de cáscara; PR=peso relativo.**

**R= índice de determinación; r = correlación de Pearson**

#### IV. DISCUSION

Según los resultados obtenidos y de acuerdo con la hipótesis planteada se tiene que las características de la calidad de cáscara se ven afectadas conforme avanza la edad de las gallinas desde 57 a 81 semanas de edad. En este periodo el peso de huevo se incrementa desde 62.83 a 66.15 g, lo que representa un 5.28% de incremento. El grosor de cascara se redujo desde 0.425 a 0.384 mm, lo que representa un 9.64% de reducción. La resistencia a la rotura de cáscara se redujo desde 4.78 a 3.46 KgF, lo que representa un 27.61%. Si bien el peso de la cascara aumentó de 6.47 a 7.02 g, que se puede explicar por un mayor peso de huevo lo que hace indicar que la cantidad de cáscara para el peso se mantuvo constante tal como se confirma con el resultado del peso relativo de cáscara que se mantuvo constante desde 10.30 a 10.61 g/100 g sin ser afectado significativamente.

La calidad de la cáscara parecía ser una preocupación importante para los productores de huevos comerciales en función de la magnitud de la cáscara rota y débil (24), lo que tiene un impacto muy fuerte sobre la economía de la empresa avícola.

Cada una de las características puede ser explicado parcialmente por diversos factores, para lo cual hacemos uso de la literatura científica de interés, sobre el concepto que la calidad de cascara no solo tiene una importancia en la economía de las empresas avícolas sino también su relación con la seguridad alimentaria de nuestra población. Es de interés el estudio de la cáscara de huevo porque una mala calidad de la cáscara de huevo también es una preocupación importante para la seguridad alimentaria, ya que los huevos con cáscara dañada se contaminan más fácilmente con bacterias (25).

La calidad de la cáscara es un factor importante para la producción de huevos, por ejemplo, en el caso de los huevos de mesa; las cáscaras deben ser lo suficientemente fuertes como para evitar fallas durante el empaquetado y el transporte. Estas propiedades se cumplen gracias a la estructura de la cáscara, ya que es un complejo biocerámico altamente ordenado como consecuencia de interacciones controladas entre los componentes de la matriz mineral y orgánica. La calidad de la cáscara juega un papel clave en la economía de la producción de huevos, ya que la rotura de los huevos representa entre el 8 y el 10 % de la producción total de huevos, lo que causa pérdidas económicas (7).

La calidad de la cáscara de huevo es uno de los factores más importantes que afectan a la industria avícola; influye económicamente en la producción de huevos y la incubabilidad. La cáscara de huevo está formada por las membranas de la cáscara y la cáscara verdadera, que incluye la capa mamilar, la capa en empalizada y la cutícula. Las mediciones de la calidad de la cáscara de huevo incluyen el peso de la cáscara, el porcentaje de cáscara, la resistencia a la rotura, el grosor y la

densidad. El grosor y la resistencia de la cáscara se ven afectados principalmente por el tiempo que tardan los componentes del huevo en pasar por la glándula de la cáscara (útero), la ultraestructura de la cáscara (deposición de las unidades principales) y la microestructura (tamaño y orientación de los cristales). La calidad de la cáscara se ve afectada por varios factores internos y externos. Los principales factores que determinan la calidad o la estructura de la cáscara de huevo son el tiempo de oviposición, la edad, el genotipo y el sistema de alojamiento. La calidad de la cáscara de huevo se puede mejorar mediante la optimización del genotipo, el sistema de alojamiento y la nutrición mineral (7).

Las características de la calidad de cáscara están muy influenciadas por diversos factores, como la genética, la edad, la nutrición y el entorno (alojamiento, programa de iluminación) (1). Normalmente la calidad de la cáscara se deteriora con la edad de la gallina durante el ciclo de producción (26).

La edad de la gallina también afecta la gravedad específica del huevo como indicador del grosor y la resistencia de la cáscara. Tumova y Gous (27) informaron una disminución de la gravedad específica con la edad de la gallina. El aumento del peso de la cáscara del huevo en gallinas mayores está relacionado con el aumento del tamaño de la superficie del huevo y de la cáscara (7)

Un estudio de Benavides-Reyes *et al.* (28) encontraron una marcada disminución en la resistencia a la rotura de la cáscara de huevo desde 5.8 kg a las 33 semanas a 4.4 kg a las 67 semanas (una reducción del 25 %) lo que no se pudo explicar únicamente por la modesta reducción en el espesor de la cáscara (reducción del 6 al 10 %) sino también por características estructurales (disminución de la densidad mamilar; aumento del tamaño de las unidades cristalinas), que se producen en gallinas de mayor edad. La disminución de la densidad mamilar reduce los puntos de unión del mineral de la cáscara de huevo a las membranas y, por lo tanto, debería afectar negativamente a las propiedades mecánicas de la cáscara de huevo. El aumento observado en el tamaño de los cristales de calcita que forman la cáscara también podría reducir la cohesión de los cristales y la resistencia de la cáscara de huevo a los impactos. En este estudio también se encontró una disminución en la cantidad de cutícula y los parámetros de calidad interna del huevo (altura de la albúmina del huevo) con la edad de la gallina, lo que podría tener un impacto negativo en la seguridad y la calidad del huevo.

La calidad de la cáscara del huevo se ve afectada por una amplia gama de factores que se combinan para influir en el producto final. Los principales factores internos incluyen, por ejemplo, el momento de la oviposición, la edad y el genotipo. Los factores externos incluyen el sistema de alojamiento, la nutrición, el microclima, etc. Se sabe que todos estos factores influyen

en las características de calidad de la cáscara del huevo y las interacciones entre algunos de ellos podrían ser más efectivas que los factores individuales (7)

Pavlik et al. (29) indicaron una disminución de la resistencia a la rotura de la cáscara del huevo con la edad de las aves; lo atribuyeron a un mayor contenido mineral en plasma en las gallinas mayores.

La parte mineral de la cáscara del huevo está formada por unidades de cristales columnares de calcita (empalizadas), de unos 70 a 80  $\mu\text{m}$  de ancho, que se extienden a lo largo de su espesor (unos 330  $\mu\text{m}$  en los pollos). Las unidades columnares de calcita irradian desde los núcleos mamilares que están anclados en las membranas de la cáscara del huevo en sitios específicos ricos en materia orgánica (perillas mamilares) que actúan como centros de nucleación de los cristales de calcita. La parte mineral tiene una cantidad significativa de materia orgánica ocluida que refuerza los cristales de calcita, que de otro modo serían frágiles, lo que hace que la cáscara del huevo sea un material muy resistente dado su pequeño espesor (28).

Las características evaluadas en el presente estudio, tal como grosor de cascara, resistencia a la rotura, gravedad específica y peso de cáscara por unidad de peso son indicadores que tienen relación directa con las propiedades físicas de la cascara del huevo por lo que siempre deben de considerarse para realizar una lectura e interpretación completa de la calidad de cáscara

Existe una correlación positiva relativamente alta entre el peso de la cáscara y el peso del huevo durante el primer ciclo de producción de huevos (30).

Las principales características de la calidad de cáscara como son el grosor y resistencia a la rotura de cáscara son afectadas por la edad, tal como se ha observado en el presente estudio conforme avanza la edad tanto el grosor como la resistencia a la rotura disminuyen significativamente. La marcada disminución de la calidad de la cáscara del huevo (espesor de la cáscara, resistencia a la rotura) observada en gallinas viejas se debe en parte a una reducción de la absorción de calcio por el intestino y a un aumento del tamaño del huevo con la edad de la gallina que la industria está tratando de reducir (31). La disminución del espesor de la cáscara a medida que avanza la edad podría explicarse por una cantidad limitada de cáscara para distribuirse sobre una gran superficie (32).

Considerando que la cáscara del huevo es un material cerámico hecho de unidades de cristales de calcita frágiles, aunque reforzados por la materia orgánica ocluida, un aumento en el tamaño de los cristales debería afectar negativamente sus propiedades mecánicas, ya que la propagación de grietas es más fácil a través de materiales de grano grueso (26). En general, no solo el espesor de la cáscara sino también las características de ultra y microestructura de la cáscara (densidad

mamilar, tamaño de los cristales) tienen una contribución importante a las propiedades mecánicas de la cáscara del huevo (28).

Si bien no hay forma de revertir el efecto de la edad sobre el grosor y resistencia a la rotura de cáscara, es necesario aplicar una nutrición adecuada a las gallinas ponedoras a través de las fases de producción que permita asegurar el abastecimiento de nutrientes como calcio, fósforo, aminoácidos, micro minerales y vitaminas que cumplen un rol importante en la formación de la cáscara.

Se ha demostrado que suministrar niveles adecuados de metales traza (Mn, Zn y Cu), necesarios para la formación de la cáscara del huevo y sus componentes, mejora significativamente la calidad de la cáscara del huevo en gallinas mayores (31).

Según estudio el peso de la cáscara se asoció positivamente con el peso del huevo y aumentó con la edad durante el primer ciclo de producción de huevos, mientras que se deterioró durante el segundo ciclo de producción de huevos (33). Mientras que el grosor de la cáscara disminuyó con la edad (30).

La disminución de la calidad de la cáscara del huevo en las gallinas mayores se debe en parte a una reducción de la absorción de calcio por el intestino y a un aumento del tamaño de los huevos, lo que resulta en una disminución del espesor de la cáscara y del porcentaje de peso de la cáscara (34)

Mantener una alta producción de huevos con una buena calidad de cáscara en un ciclo de producción prolongado (hasta que las gallinas tengan más de 100 semanas) supone un desafío para la salud de las gallinas en general y para el metabolismo óseo en particular. Uno de los factores que fundamentan estos cambios estaría relacionado con la salud ósea de las gallinas. La integridad esquelética de las gallinas y la calidad de la cáscara se deterioran con la edad (35)

La calidad de la cáscara también está relacionado a la médula ósea. Durante el período intensivo de postura, se forma hueso medular a expensas del hueso cortical, lo que resulta en una pérdida progresiva de hueso estructural, especialmente si el aporte de calcio en la dieta no es adecuado (31)

Las gallinas que no ponen huevos tienen huesos más fuertes y mineralizados con mayores cantidades de hueso medular (36). La puesta de huevos y los altos requerimientos de calcio para la formación de la cáscara hacen que las gallinas sean más susceptibles a desarrollar problemas esqueléticos como la osteoporosis (37)

Las gallinas con mayor calidad ósea podrían poner huevos con peor calidad de cáscara (38). Por el contrario, las gallinas con baja calidad ósea podrían tener una reabsorción ósea más activa para

suministrar más calcio para la formación de la cáscara, lo que resulta en una mejor calidad de la cáscara (35).

Un interesante estudio de Alfonso-Carrillo *et al.* (35), demostraron que las gallinas ponedoras con una baja producción de huevos y una mala calidad de la cáscara tienen una mejor calidad ósea (una mayor resistencia a la rotura y una mayor cantidad de hueso medular) debido a una menor resorción mineral ósea. Sin embargo, no se pudo encontrar una relación clara entre la calidad ósea y los parámetros de producción de huevos/calidad de la cáscara, lo que sugiere que los rasgos de calidad ósea y del huevo se pueden mejorar de forma independiente mediante la selección genética y una nutrición óptima. Las gallinas necesitan desarrollar suficiente hueso medular en etapas tempranas de la vida para mantener las reservas de calcio y la integridad esquelética durante períodos más prolongados de producción de huevos. Por otro lado, el hueso medular tiene una contribución significativa a las propiedades mecánicas óseas. Por lo tanto, permitir que las gallinas acumulen mayores cantidades de hueso medular (por ejemplo, retrasando la edad en la que se pone el primer huevo; optimizando la dieta durante la prepostura) podría reducir la osteoporosis y las fracturas óseas. Además, las gallinas necesitan desarrollar y mantener un oviducto sano y funcional para sostener una producción de huevos tan alta con una cáscara de buena calidad.

## **V. CONCLUSIONES**

- 5.1 El peso de huevo, peso de cáscara y el índice de cáscara aumenta significativamente conforme avanza la edad de las gallinas de postura.
- 5.2 El grosor de cáscara, resistencia a la rotura de cáscara y el color de cáscara disminuyen significativamente conforme avanza la edad de las gallinas de postura.
- 5.3 El peso relativo de cáscara, ceniza de cáscara y la gravedad específica no fueron afectados significativamente y presentan una tendencia estadística.
- 5.4 Existe correlación positiva de la edad con el peso de huevo y peso de cáscara de huevo.
- 5.5 Existe correlación negativa de la edad con el grosor y resistencia a la rotura de cáscara.
- 5.6 Se genero 8 modelos de regresión que puede ser utilizado para predecir la calidad de la cáscara en función de la edad de la gallina de postura.
- 5.7 La edad de la gallina de postura determina las características de calidad de cascara de acuerdo a los valores de correlación y regresión encontrados.
- 5.8 Las características de calidad de cáscara se pueden considerar valores buenos para este lote en el periodo evaluado.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- 6.1 Continuar con las evaluaciones de las características de calidad de cáscara considerando las características internas de frescura
- 6.2 Realizar evaluaciones de calidad de cáscara en función de la edad en otras líneas genéticas de gallinas de postura
- 6.3 Realizar evaluaciones de calidad de cáscara en la fase de 80 a 100 semanas de edad
- 6.4 En próximas evaluaciones se debe considerar evaluar la microestructura de la cascara para explicar con mayor precisión los fundamentos del cambio por la edad.
- 6.5 Considerar la relación de la calidad de cáscara con la salud ósea y hepática de las gallinas de postura.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Dunn IC, Joseph NT, Bain M, Edmond A, Wilson PW, Milona P, Nys Y, Gautron J, Schmutz M, Preisinger R, Waddington D. Polymorphisms in eggshell organic matrix genes are associated with eggshell quality measurements in pedigree Rhode Island Red hens. *Anim. Genet.* 2009; 40:110-114. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2008.01794.x>
2. Zita L, Ledvinka Z, Tumova E, Klesalova L. Technological quality of eggs in relation to the age of laying hens and Japanese quails. *Non-Ruminants. R. Bras. Zootec.* 2012; 41(9): <https://doi.org/10.1590/S1516-35982012000900016>
3. Johnston SA, Gous RM. Modelling the changes in the proportions of the egg components during a laying cycle. *British Poultry Science*, 2007; 48(3): 347–353. <https://doi.org/10.1080/00071660701381134>
4. Ledvinka Z, Klesalová, L. Weight of eggs and factors that influences it [in Czech: Hmotnost vajec a faktory, které ji ovlivňují]. *Náš chov.* 2002; 62(7): 54
5. Hunton P. Understanding the architecture of the egg shell. *World's Poult. Sci. J.* 1995; 51:141–148. <https://doi.org/10.1079/WPS19950009>
6. Harms RH, Douglas CR, Sloan DR. Midnight feeding of commercial laying hens can improve eggshell quality. *J. Appl. Poult. Res.* 1996; 5:1–5. <https://doi.org/10.1093/japr/5.1.1>
7. Ketta M, Tůmová E. Eggshell structure, measurements, and quality-affecting factors in laying hens: a review. *Czech J. Anim. Sci.* 2016; 61(7): 299–309. <https://www.agriculturejournals.cz/pdfs/cjs/2016/07/01.pdf>
8. Barnett DM, Kumpula BL, Petryk RL, Robinson NA, Renema RA, Robinson FE. Hatchability and early chick growth potential of broiler breeder eggs with hairline cracks. *Journal of Applied Poultry Research.* 2004; 13: 65-70. <https://doi.org/10.1093/japr/13.1.65>
9. Yamada M, Chen C, Sugiyama T, Kim WK. Effect of Age on Bone Structure Parameters in Laying Hens. *Animals.* 2021; 11, 570. <https://doi.org/10.3390/ani11020570>
10. Rodriguez-Navarro A, McCormack H, Fleming R, Alvarez-Lloret P, Romero-Pastor J, Dominguez-Gasca N, Prozorov T, Dunn I. Influence of physical activity on tibial bone material properties in laying hens. *J. Struct. Biol.* 2018; 201, 36–45. <https://doi.org/10.1016/j.jsb.2017.10.011>
11. Singh R, Joyner CJ, Peddie MJ, Taylor T. Changes in the concentrations of parathyroid hormone and ionic calcium in the plasma of laying hens during the egg cycle in relation

- to dietary deficiencies of calcium and vitamin D. *Gen. Comp. Endocrinol.* 1986; 61, 20–28. [https://doi.org/10.1016/0016-6480\(86\)90245-5](https://doi.org/10.1016/0016-6480(86)90245-5)
12. Li J, Padwa BL, Zhou S, Mullokandova J, LeBoff MS, Glowacki J. Synergistic effect of  $1\alpha,25$ -dihydroxyvitamin D3 and  $17\beta$ -estradiol on osteoblast differentiation of pediatric MSCs. *J. Steroid Biochem. Mol. Biol.* 2018; 177, 103–108. <https://doi.org/10.1016/j.jsbmb.2017.07.032>
  13. Schreiweis MA, Orban JI, Ledur MC, Moody DE, Hester PY. Effects of Ovulatory and Egg Laying Cycle on Bone Mineral Density and Content of Live White Leghorns as Assessed by Dual-Energy X-Ray Absorptiometry. *Poult. Sci.* 2004; 83, 1011–1019. <https://doi.org/10.1093/ps/83.6.1011>
  14. Inca JS, Martinez DA, Vilchez C. Phenotypic correlation between external and internal egg quality characteristics in 85-week-old laying hens. *Int. J. Poult. Sci.* 2020; 19: 346–355. <https://doi.org/10.3923/ijps.2020.346.355>
  15. Kraus A, Zita L. The Effect of Age and Genotype on Quality of Eggs in Brown Egg-Laying Hybrids. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis.* 2019; 67(2): 407–414. [https://acta.mendelu.cz/artkey/acu-201902-0003\\_the-effect-of-age-and-genotype-on-quality-of-eggs-in-brown-egg-laying-hybrids.php](https://acta.mendelu.cz/artkey/acu-201902-0003_the-effect-of-age-and-genotype-on-quality-of-eggs-in-brown-egg-laying-hybrids.php)
  16. Blanco AE, Icken W, Ould-Ali D, Cavero D, Schmutz M. Genetic parameters of egg quality traits on different pedigree layers with special focus on dynamic stiffness. *Poultry Science.* 2014; 93 :2457–2463. <https://doi.org/10.3382/ps.2014-04132>
  17. Kul S, Seker I. Phenotypic correlation between some external and internal egg quality traits in the Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*). *International Journal of Poultry Science.* 2004; 3: 400–405. <https://doi.org/10.3923/ijps.2004.400.405>
  18. Ahmed AMH, Rodriguez-Navarro AB, Vidal ML, Gautron J, Garcia-Ruiz JM, Nys Y. Changes in eggshell mechanical properties, crystallographic texture and in matrix proteins induced by moult in hens. *British Poultry Science.* 2005; 46, 268–279. <https://doi.org/10.1080/00071660500065425>
  19. Thompson BK, Hamilton RMG, Grunder AA. The relationship between laboratory measures of eggshell quality and breakage in commercial egg washing and candling equipment. *Poult Sci.* 1985; 64: 901–909. <https://doi.org/10.3382/ps.0640901>
  20. FONAGRO. Información meteorológica diaria de la estación. Chincha. SENAMHI. Dirección Regional de Ica. 24 p. 2019.
  21. Guevara, V.R. Use of nonlinear programming to optimize performance response to energy density in broiler feed formulation. *Poultry Science.* 2004; 83 (1): 147–151. <https://doi.org/10.1093/ps/83.2.147>
  22. STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM, INSTITUTE. User's Guide: Statistics. Versión 9.4. Edition. SAS Institute Inc., Cary, NC. USA. 2021

23. Salvador T.E. Curso de Bioestadística. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional “San Luis Gonzaga”. 2021.
24. Shawket TF. Effect of environmental stress on laying hens and its relationship to their welfare. Ph.D. thesis. 1990. Rijks Universiteit, Facultiet Vande Land- bouww, Gen, Belgium.
25. Bain MM, McDade K, Burchmore R, Law A, Wilson PW, Schmutz M, Preisinger R, Dunn IC. Enhancing the egg’s natural defence against bacterial penetration by increasing cuticle deposition. *Anim. Genet.*2013; 44:661–668. <https://doi.org/10.1111/age.12071>
26. Rodriguez-Navarro A, Kalin O, Nys Y, Garcia-Ruiz JM. Influence of the microstructure on the shell strength of eggs laid by hens of different ages. *Br. Poult. Sci.* 2002; 43:395–403. <https://doi.org/10.1080/00071660120103675>
27. Tumova E, Gous RM. Interaction between oviposition time, age, and environmental temperature and egg quality traits in laying hens and broiler breeders. *Czech Journal of Animal Science.* 2012; 57: 541–549. <https://cjas.agriculturejournals.cz/pdfs/cjs/2012/12/02.pdf>
28. Benavides-Reyes C, Folegatti E, Dominguez-Gasca N, Litta G, Sanchez-Rodriguez E, Rodriguez-Navarro AB, Faruk MU. Research Note: Changes in eggshell quality and microstructure related to hen age during a production cycle, *Poultry Science.* 2021; 100(9). <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101287>
29. Pavlik A, Lichovnikova M, Jelinek P. Blood plasma mineral profile and qualitative indicators of the eggshell in laying hens in different housing systems. *Acta Veterinaria Brno.* 2009; 78: 419–429. <https://actavet.vfu.cz/78/3/0419/>
30. Roland AD. The relationship of egg shape to time of oviposition and eggshell quality. *Poult. Sci.* 1978; 57: 1723-1727. <https://doi.org/10.3382/ps.0571723>
31. Nys Y. Laying hen nutrition: optimising hen performance and health, bone and eggshell quality. 2017; Pages 47–74 in *Achieving Sustainable Production of Eggs.* J. R. Rober, ed. Burleigh Dodds Science Publishing Limited, Cambridge, UK. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9781351114134-5/laying-hen-nutrition-optimising-hen-performance-health-bone-eggshell-quality-nys-institut-national-de-la-recherche-agronomique-inra-france>
32. Abdalla, A. M. (2018). Effect of Laying Hens Age on Some Egg Quality Traits with Emphasis on Correlation. *International.* <http://dx.doi.org/10.5455/ijlr.20180228055101>
33. Suk OY, Park C. The effect of breed and age of hens on yolk to albumen ratio in two different genetic stocks. *Poult. Sci.* 2001; 80: 855-858. <https://doi.org/10.1093/ps/80.7.855>

34. Elaroussi, M.A.; Forte, L.R.; Eber, S.L.; Biellier, H.V. Calcium homeostasis in the laying hen. 1. Age and dietary calcium effects. *Poult. Sci.* 1994, 73, 1581–1589. <https://doi.org/10.3382/ps.0731581>
35. Alfonso-Carrillo, C.; Benavides-Reyes, C.; de los Mozos, J.; Dominguez-Gasca, N.; Sanchez-Rodríguez, E.; Garcia-Ruiz, A.I.; Rodriguez-Navarro, A.B. Relationship between Bone Quality, Egg Production and Eggshell Quality in Laying Hens at the End of an Extended Production Cycle (105 Weeks). *Animals* 2021, 11, 623. <https://doi.org/10.3390/ani11030623>
36. Eusemann, B.K.; Baulain, U.; Schrader, L.; Thöne-Reineke, C.; Patt, A.; Petow, S. Radiographic examination of keel bone damage in living laying hens of different strains kept in two housing systems. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194974>
37. Whitehead, C.C. Overview of bone biology in the egg-laying hen. *Poult. Sci.* 2004, 83, 193–199. <https://doi.org/10.1093/ps/83.2.193>
38. Stratmann, A.; Fröhlich, E.K.F.; Gebhardt-Henrich, S.G.; Harlander-Matauschek, A.; Würbel, H.; Toscano, M.J. Genetic selection to increase bone strength affects prevalence of keel bone damage and egg parameters in commercially housed laying hens. *Poult. Sci.* 2016, 95, 975–984. <https://doi.org/10.3382/ps/pew026>

## VIII. ANEXOS

### 8.1 Formula de la dieta balanceada utilizada

# FORMULA DIETA UTILIZADA

Plant: GALLINAS

Batch Size(USD/kg): 80.0000

Cost in USD/kg: 1.9304

Batch Cost(in USD): 154.4313

## Composition Chart

### Ingredient Restrictions

Ingredient	Price (USD)	Min(%)	Max(%)	Usage(%)	Batch(kg)	Cost(USD)	Shadow
MAIZ, 7.86	1.86			56.939	45.5512	84.7252	
TORTA DE SOYA, 46.50	2.56			16.6841	13.3473	34.169	
SP DE TRIGO, 15.1	1.15			12	9.6	11.04	
CARBONATO DE CALCIO GRUESO	0.25			5.85	4.68	1.17	
CARBONATO DE CALCIO FINO	0.25			3.1426	2.5141	0.6285	
SOYA INTEGRAL, 37.3	2.46			2.1946	1.7557	4.3191	
MONTAFOS (P monodicalcico) 21	6.55			1.0731	0.8585	5.623	
ACEITE DE SOYA	4.5			1	0.8	3.6	
SAL COMUN	0.515			0.2781	0.2225	0.1146	
BICARBONATO DE SODIO	4.8			0.25	0.2	0.96	
METIONINA	19.8			0.1727	0.1382	2.7355	
CLORURO DE COLINA	7.2			0.1577	0.1262	0.9085	
PREMIX MIN+VIT	25	0.12	0.12	0.12	0.096	2.4	
SECUESTRANTE MICOTOXINAS	19	0.1	0.1	0.1	0.08	1.52	
LISINA	17			0.0381	0.0305	0.5178	

80.000

### Nutrient Restrictions

Nutrient	Code	Units	Min Limit	Max Limit	Actual	Shadow
Acido Linoleico	1	%	1.33		2.1542	
Alanina SID		%			0.279	
Alanina T	2	%			0.8159	
Almidon	3	%			40.8628	
Arginina SID	4	%	0.7		0.8926	
Arginina T	5	%			0.9639	

ASP SID		%			0.1139	
Asp T	6	%			0.8014	
BED	7	mEq/Kg			176.1168	
Calcio	8	%	3.67	3.67	3.67	-0.0312
Ceniza	9	%			2.4536	
Cloro	10	%	0.18		0.2653	
Colina	11	mg/kg	1850		1850	
Cystina SID	12	%			0.2147	
Cystina T	13	%			0.2602	
EMetab. postura	20	kcal/kg	2750		2750	0.0001
ENeta postura		kcal/kg			2213.6499	
Extracto etereo	24	%			4.3988	
FDA	25	%			4.8943	
FDN	26	%			15.2186	
Fenylalanina SID	27	%			0.6454	
Fenylalanina T	28	%			0.7229	
Fibra cruda	29	%			2.9031	
Gli SID		%			0.1367	
GLU SID		%			0.5011	
Glu T	30	%			1.4968	
Gly + Ser T	31	%			1.4206	
Glycina T	32	%			0.6515	
Histidina SID	33	%			0.3618	
Histidina T	34	%			0.4109	
Isoleucina SID	35	%	0.53		0.5381	
Isoleucina T	36	%			0.6069	
Leucina SID	38	%			1.1984	
Leucina T	39	%			1.313	
Lysina SID	40	%	0.67		0.67	0.1917
Lysina T	41	%			0.7624	
Materia seca	42	%			38.5351	
Met + Cys T	43	%			0.6671	
Met + Cys SID	44	%	0.6		0.6	0.1794
Methionina SID	45	%	0.33		0.3832	
Methionina T	46	%			0.4053	
P Dig BRASIL		%			0.3279	
P Dig cvb	47	%			0.3088	
P Dig FEDNA	48	%			0.3093	
P disponible	49	%	0.34		0.34	0.2658
P fitico	50	%			0.2278	
P total	51	%			0.5849	
PNA	53	%			16.7121	
Potasio	54	%			0.6573	
Prolina SID		%			0.4327	
Prolina T	55	%			1.0131	
Proteina cruda	56	%	15		15	0.0026

Serina SID		%			0.1822	
Serine T	57	%			0.7691	
Sodio	58	%	0.19	0.19	0.19	-0.0232
Threonina SID	59	%	0.47		0.4993	
Threonina T	60	%			0.573	
Tryptophano SID	61	%	0.15		0.1633	
Tryptophano T	62	%			0.1819	
Tyrosine T	63	%			0.5235	
Valina SID	64	%	0.58		0.6032	
Valina T	65	%			0.7066	

## 8.2 Resultados de los análisis estadísticos

### PESO DE HUEVO

#### Procedimiento GLM

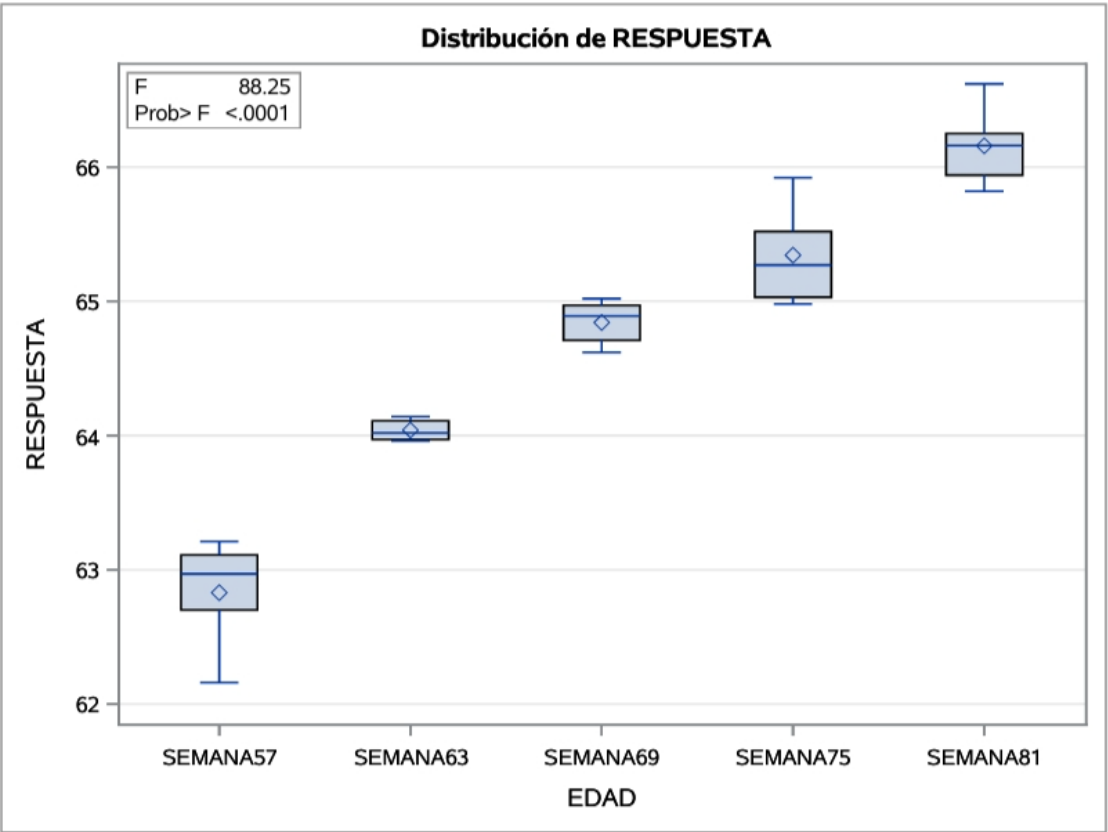
Variable dependiente: RESPUESTA

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Modelo	4	32.38402400	8.09600600	88.25	<.0001
Error	20	1.83488000	0.09174400		
Total corregido	24	34.21890400			

R-cuadrado	Var Coef.	Raiz MSE	Media de RESPUESTA
0.946378	0.468564	0.302893	64.64280

Origen	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
EDAD	4	32.38402400	8.09600600	88.25	<.0001

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
EDAD	4	32.38402400	8.09600600	88.25	<.0001



## GROSOR DE CASCARA

### Procedimiento GLM

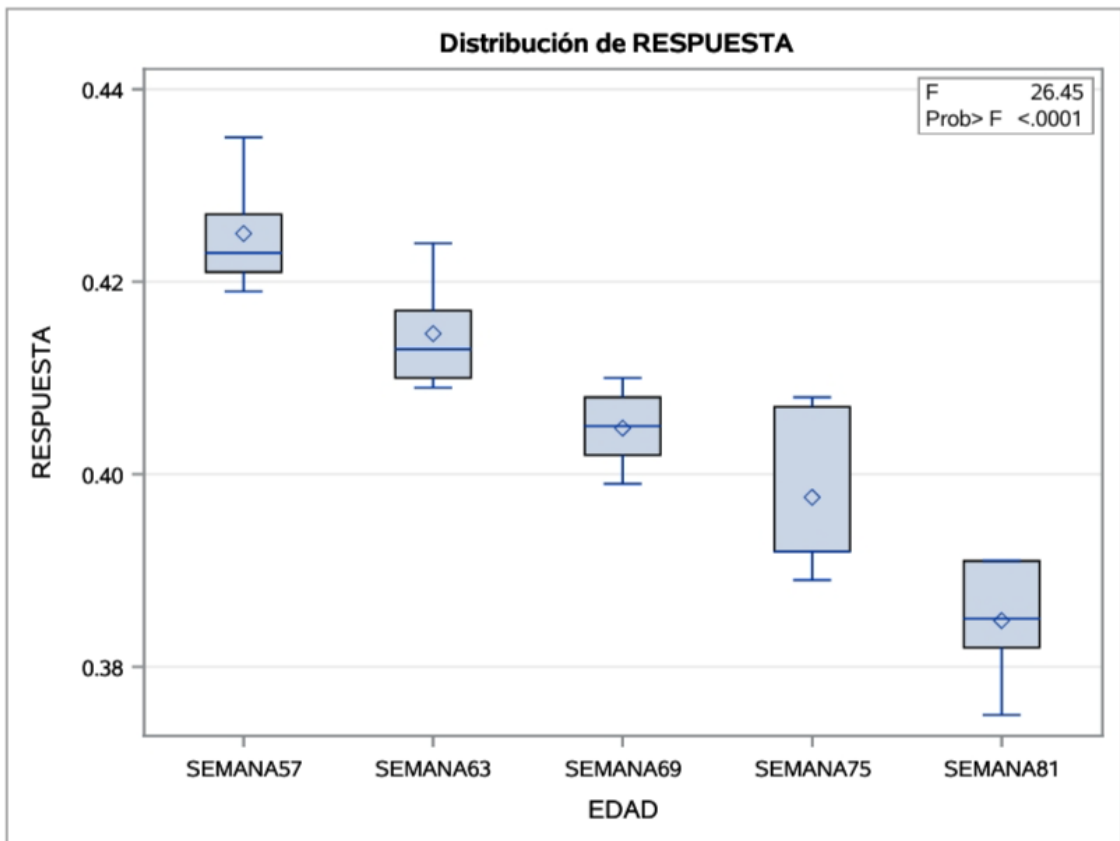
Variable dependiente: RESPUESTA

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Modelo	4	0.00477176	0.00119294	26.45	<.0001
Error	20	0.00090200	0.00004510		
Total corregido	24	0.00567376			

R-cuadrado	Var Coef.	Raíz MSE	Media de RESPUESTA
0.841023	1.656713	0.006716	0.405360

Origen	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
EDAD	4	0.00477176	0.00119294	26.45	<.0001

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
EDAD	4	0.00477176	0.00119294	26.45	<.0001



## RESISTENCIA A ROTURA DE CASCARA

### Procedimiento GLM

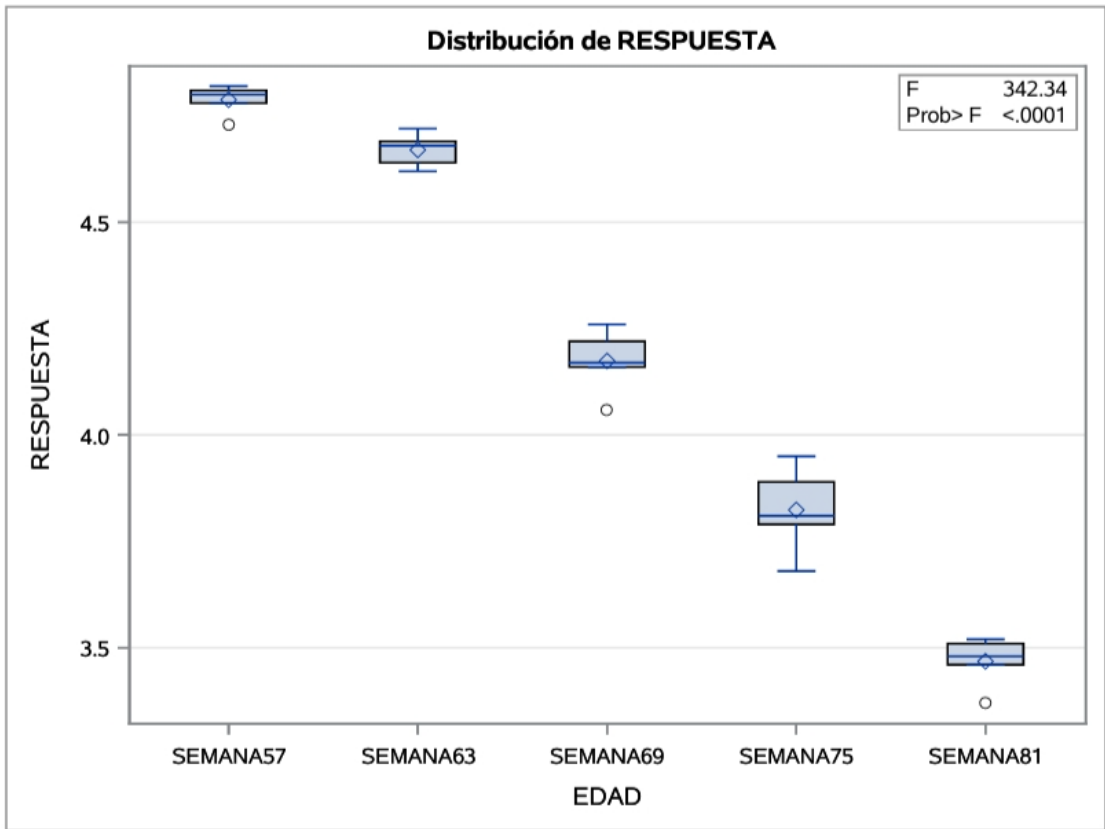
#### Variable dependiente: RESPUESTA

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Modelo	4	6.21682400	1.55420600	342.34	<.0001
Error	20	0.09080000	0.00454000		
Total corregido	24	6.30762400			

R-cuadrado	Var Coef.	Raíz MSE	Media de RESPUESTA
0.985605	1.610101	0.067380	4.184800

Origen	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
EDAD	4	6.21682400	1.55420600	342.34	<.0001

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
EDAD	4	6.21682400	1.55420600	342.34	<.0001



## PESO DE CASCARA

### Procedimiento GLM

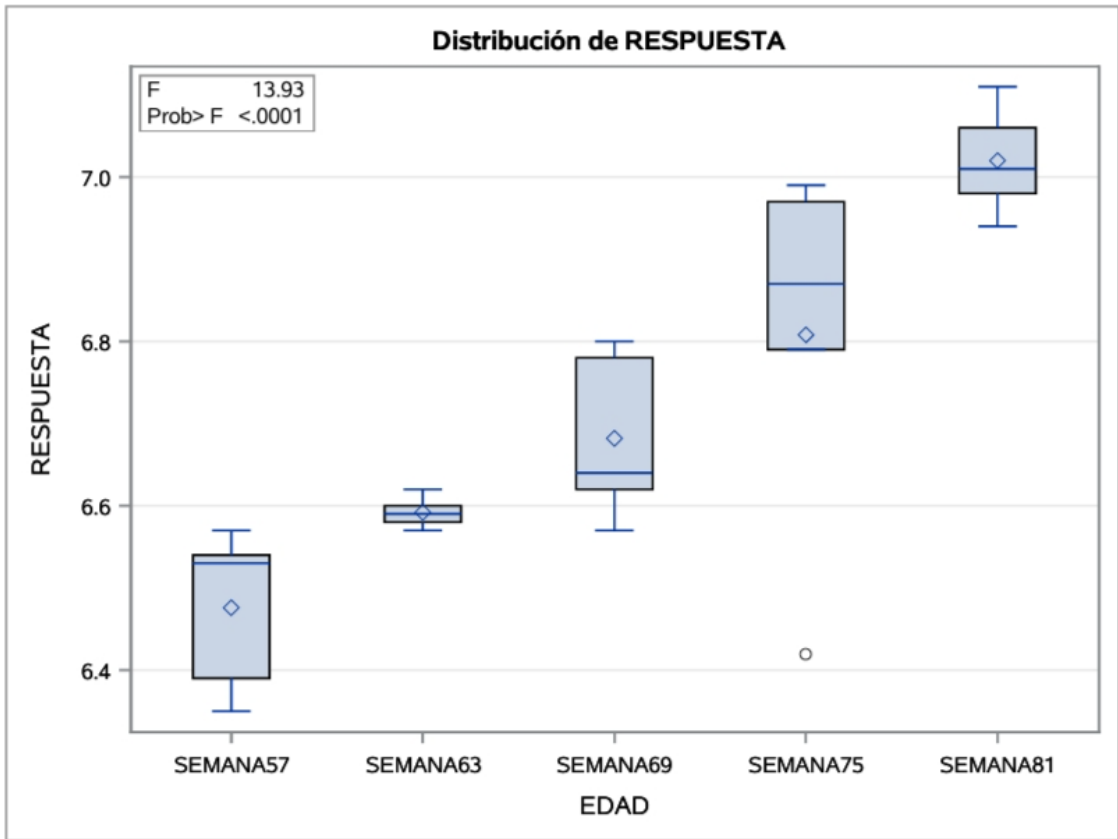
Variable dependiente: RESPUESTA

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
<b>Modelo</b>	4	0.87505600	0.21876400	13.93	<.0001
<b>Error</b>	20	0.31416000	0.01570800		
<b>Total corregido</b>	24	1.18921600			

R-cuadrado	Var Coef.	Raíz MSE	Media de RESPUESTA
0.735826	1.866275	0.125332	6.715600

Origen	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
<b>EDAD</b>	4	0.87505600	0.21876400	13.93	<.0001

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
<b>EDAD</b>	4	0.87505600	0.21876400	13.93	<.0001



## PESO RELATIVO DE CASCARA

### Procedimiento GLM

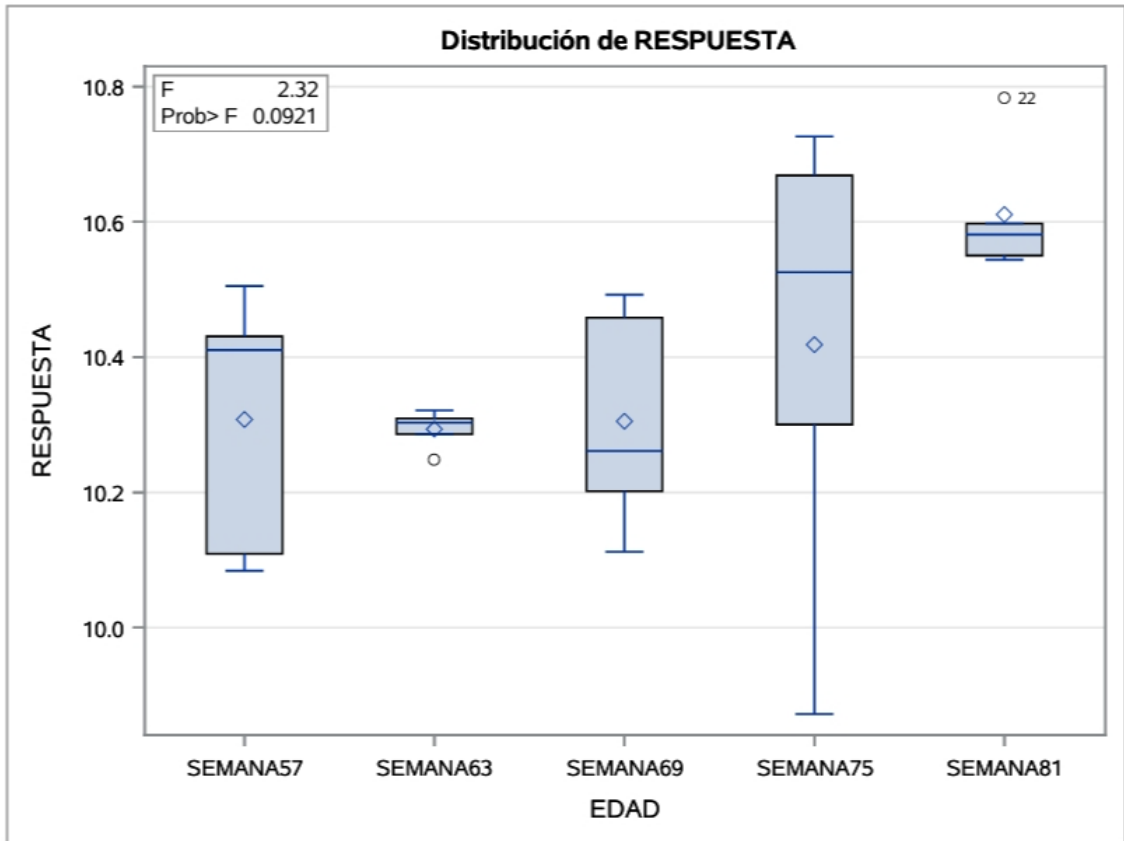
Variable dependiente: RESPUESTA

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Modelo	4	0.36436915	0.09109229	2.32	0.0921
Error	20	0.78509947	0.03925497		
Total corregido	24	1.14946862			

R-cuadrado	Var Coef.	Raíz MSE	Media de RESPUESTA
0.316989	1.907420	0.198129	10.38726

Origen	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
EDAD	4	0.36436915	0.09109229	2.32	0.0921

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
EDAD	4	0.36436915	0.09109229	2.32	0.0921



## CENIZA DE CASCARA

### Procedimiento GLM

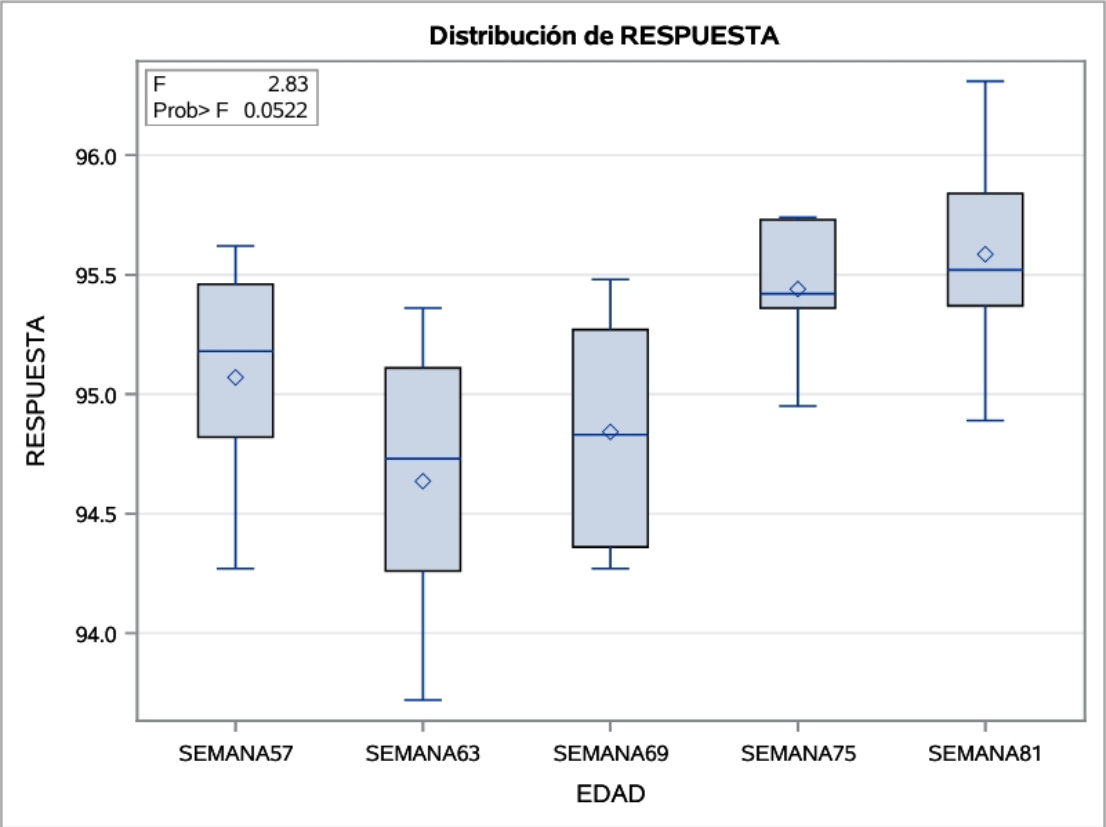
Variable dependiente: RESPUESTA

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Modelo	4	3.16730400	0.79182600	2.83	0.0522
Error	20	5.60232000	0.28011600		
Total corregido	24	8.76962400			

R-cuadrado	Var Coef.	Raíz MSE	Media de RESPUESTA
0.361168	0.556443	0.529260	95.11480

Origen	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
EDAD	4	3.16730400	0.79182600	2.83	0.0522

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
EDAD	4	3.16730400	0.79182600	2.83	0.0522



## GRAVEDAD ESPECIFICA

### Procedimiento GLM

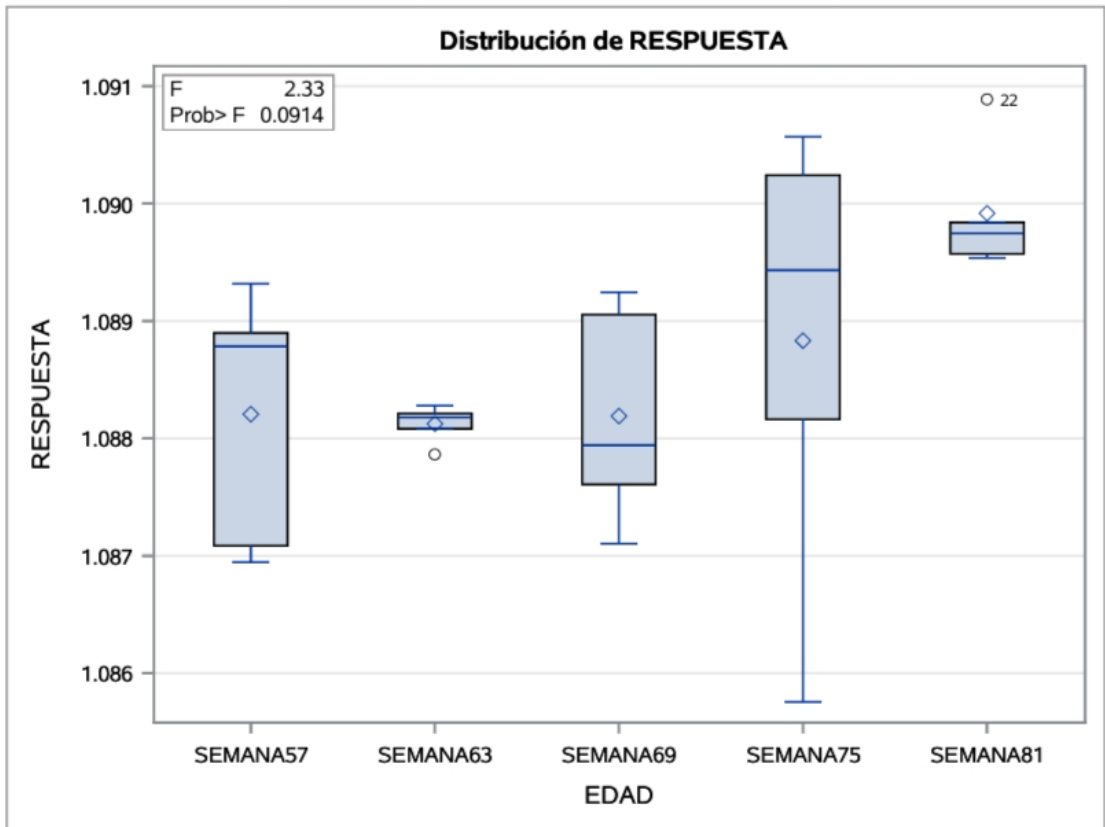
Variable dependiente: RESPUESTA

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Modelo	4	0.00001161	0.00000290	2.33	0.0914
Error	20	0.00002494	0.00000125		
Total corregido	24	0.00003654			

R-cuadrado	Var Coef.	Raíz MSE	Media de RESPUESTA
0.317623	0.102570	0.001117	1.088654

Origen	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
EDAD	4	0.00001161	0.00000290	2.33	0.0914

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
EDAD	4	0.00001161	0.00000290	2.33	0.0914



## INDICE DE CASCARA

### Procedimiento GLM

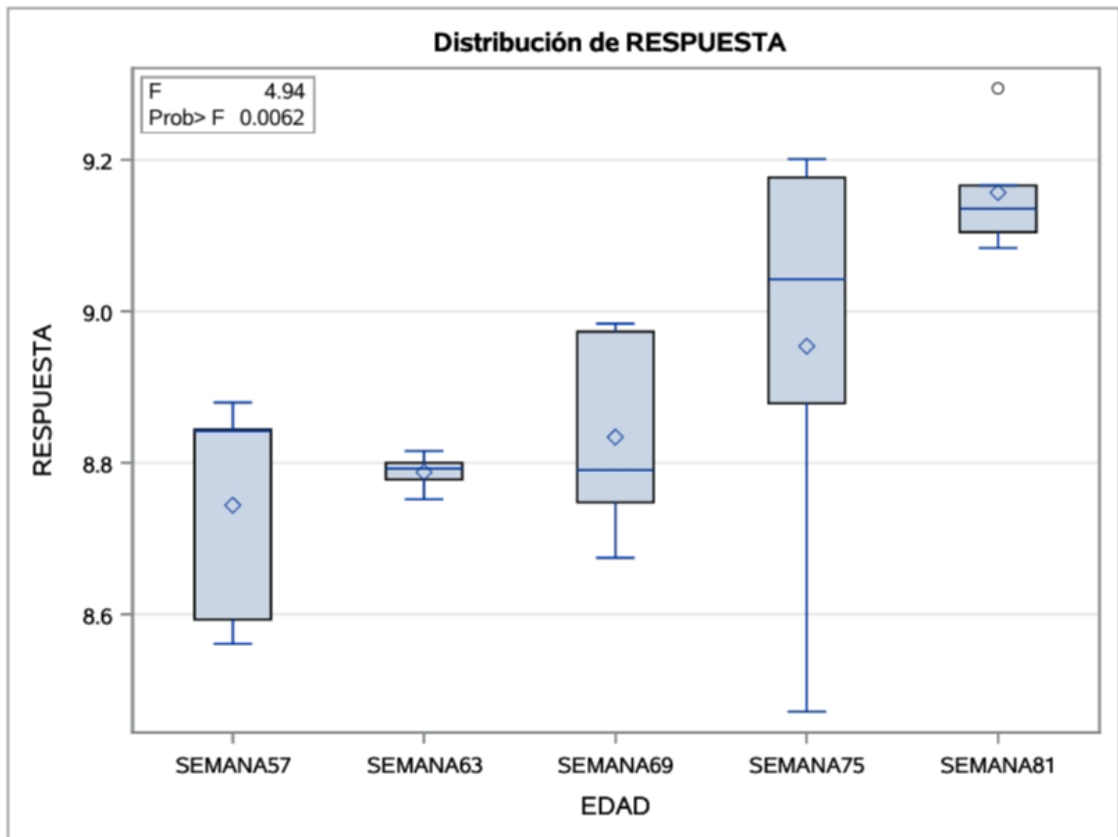
Variable dependiente: RESPUESTA

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Modelo	4	0.55194220	0.13798555	4.94	0.0062
Error	20	0.55918050	0.02795903		
Total corregido	24	1.11112271			

R-cuadrado	Var Coef.	Raíz MSE	Media de RESPUESTA
0.496743	1.879739	0.167210	8.895361

Origen	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
EDAD	4	0.55194220	0.13798555	4.94	0.0062

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
EDAD	4	0.55194220	0.13798555	4.94	0.0062



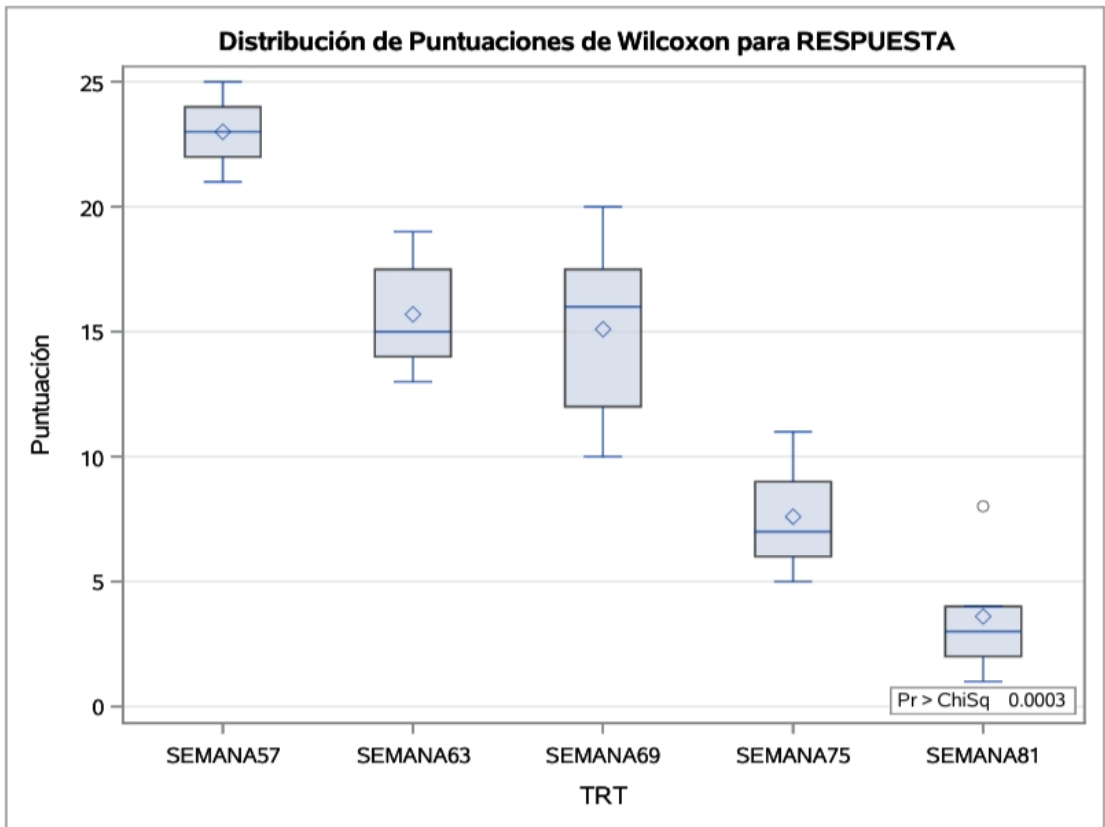
## COLOR DE CASCARA

### Procedimineto NPAR1WAY

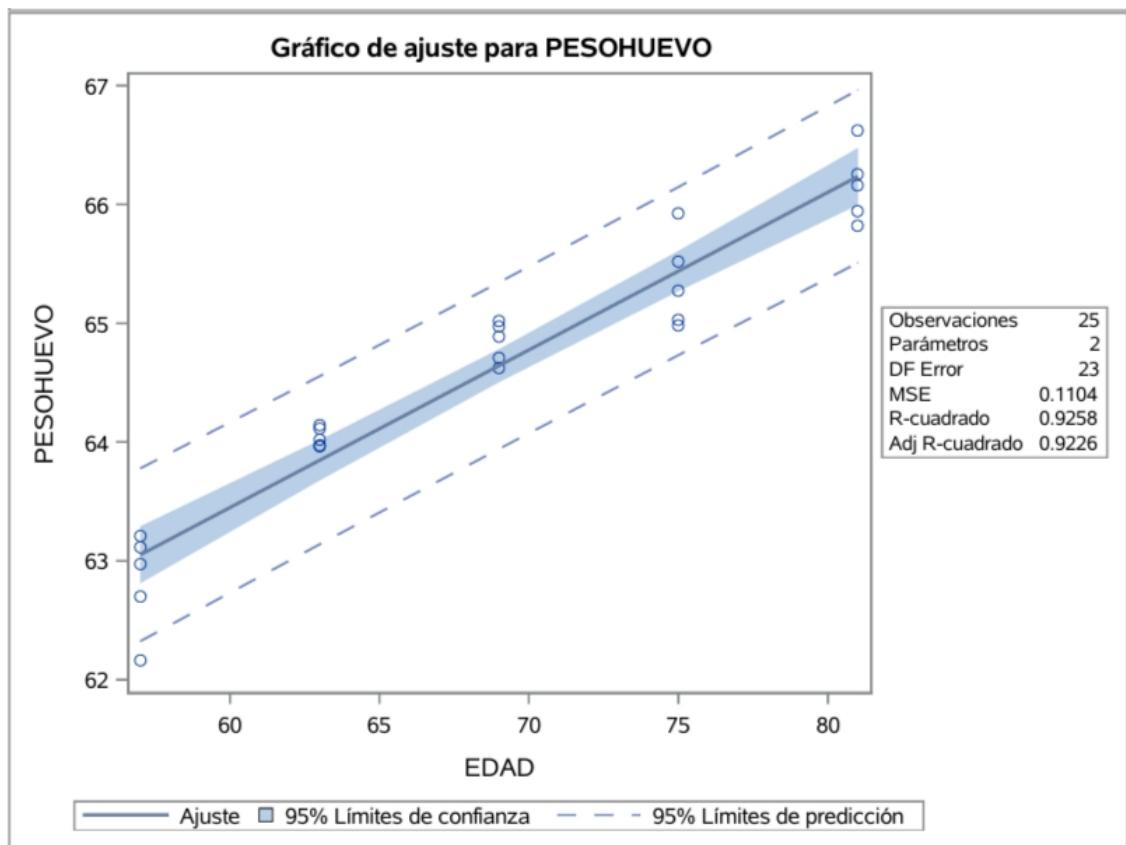
Puntuaciones de Wilcoxon (Sumas de rango) para variable RESPUESTA Clasificado por variable TRT					
TRT	N	Suma de puntuaciones	Esperado debajo de H0	Desv. est. debajo de H0	Puntuación media
SEMANA57	5	115.00	65.0	14.716770	23.00
SEMANA63	5	78.50	65.0	14.716770	15.70
SEMANA69	5	75.50	65.0	14.716770	15.10
SEMANA75	5	38.00	65.0	14.716770	7.60
SEMANA81	5	18.00	65.0	14.716770	3.60
Se utilizaron puntuaciones media para valores repetidos.					

Test de Kruskal-Wallis		
Chi-cuadrado	DF	Pr > ChiSq
21.1669	4	0.0003

---



## REGRESION Y CORRELACION DE EDAD CON PESO DE HUEVO



## Example of correlation matrix

### Procedimiento CORR

2 Variables:	EDAD	PESOHUEVO
--------------	------	-----------

Estadísticos simples						
Variable	N	Media	Desv. est.	Suma	Mínimo	Máximo
EDAD	25	69.00000	8.66025	1725	57.00000	81.00000
PESOHUEVO	25	64.64280	1.19406	1616	62.16000	66.62000

Coeficientes de correlación Pearson, N = 25 Prob >  r  suponiendo H0: Rho=0		
	EDAD	PESOHUEVO
EDAD	1.00000	0.96220 <.0001
PESOHUEVO	0.96220 <.0001	1.00000

### **8.3 Fotos del experimento**