



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO  
FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS  
DOCTORADO EN CIENCIAS VETERINARIAS



EFFECTOS DEL USO DE ACIDIFICANTES EN LA DIETA DE GALLINAS  
PONEDORAS SOBRE PARÁMETROS ZOOTÉCNICOS, CARACTERÍSTICAS  
EXTERNAS E INTERNAS DEL HUEVO, LONGITUD DE LA VELLOSIDAD YEYUNAL Y  
COMO POTENCIAL REDUCTOR DEL ESTRÉS CALÓRICO

TESISTA: ESP. MÉD. VET. CARINA HAYDEE ALVAREZ

DIRECTORA: DRA. MÉD. VET. ALEJANDRA EDIT ANTRUEJO

CODIRECTORA: DRA. EST. ANA MARIA CRAVERI

2024

Universidad Nacional de Rosario

Facultad de Ciencias Veterinarias

Carrera de Doctorado en Ciencias Veterinarias

Título de la tesis: Efectos del uso de acidificantes en la dieta de gallinas ponedoras sobre parámetros zootécnicos, características externas e internas del huevo, longitud de la vellosidad yeyunal y como potencial reductor del estrés calórico

Autora: Esp. Méd. Vet. Carina Haydee Alvarez

Lugar de trabajo: Facultad de Ciencias Veterinarias - Universidad Nacional de Rosario. Casilda, Santa Fe.

Directora: Dra. Alejandra Edit Antruejo

Codirectora: Dra. Ana María Craveri

#### MIEMBROS DEL JURADO

De Franceschi, Mauricio Enrique Julio.....

Revidatti, Fernando Augusto Ramón.....

Canet, Zulma Edith.....

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

---

ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	7,8
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
INDICE DE FOTOS.....	10
ABREVIATURAS.....	11
1- RESUMEN .....	14
2- ABSTRACT .....	17
3- INTRODUCCIÓN .....	20
4- MARCO TEÓRICO .....	26
4.1- Producción de huevo para consumo. Situación actual.....	28
4.2- Aparato reproductor de la gallina, formación y estructura del huevo. Calidad del huevo. ....	31
4.2.1- Aparato reproductor y formación del huevo.....	31
4.2.2- Estructura del huevo.....	41
4.2.3- Calidad de huevo.....	47
4.3- El uso de antibióticos como promotores de crecimiento .....	57

4.3.1- La resistencia microbiana como consecuencia del uso de APC .....	58
4.3.2- Alternativas para el reemplazo de los APC .....	61
4.4- Ácidos orgánicos.....	62
4.4.1- Características.....	62
4.4.2- Mecanismo de acción de los AO .....	63
4.4.3- Usos de los AO en la industria de producción animal .....	66
4.5- Intestino delgado. Mucosa intestinal .....	68
4.6- Estrés calórico.....	73
4.6.1- Estrés calórico y calidad del huevo .....	76
4.6.2- Estrés calórico y su relación con la mucosa intestinal.....	77
4.7- Conceptos generales del equilibrio ácido-base.....	79
4.7.1- Balance ácido-base y su relación con el estrés calórico .....	80
4.8- Electrolitos y su importancia en la fisiología del ave .....	82
4.8.1- Calcio .....	82
4.8.2- Metabolismo del Ca en la formación de la cáscara .....	84
4.8.3- Fósforo .....	85
4.8.4- Magnesio.....	86
4.8.5- Potasio .....	86
4.8.6- Sodio .....	87

4.8.7- Cloro.....	88
5- OBJETIVOS.....	90
6- MATERIALES Y MÉTODOS.....	92
VARIABLES EVALUADAS.....	95
6.1- Características zootécnicas .....	95
6.2- Características externas e internas del huevo .....	97
6.3- Vellosidades intestinales.....	103
6.4- Análisis séricos .....	104
7- RESULTADOS.....	106
7.1- Parámetros zootécnicos.....	107
7.2- Características externas e internas del huevo .....	111
7.3- Medición de las vellosidades intestinales.....	117
7.4- Análisis séricos de electrolitos .....	120
8- DISCUSIÓN .....	126
8.1- Parámetros zootécnicos.....	127
8.2- Características externas e internas del huevo .....	129
8.3- Vellosidades intestinales.....	132
8.4- Electrolitos.....	133

9- CONCLUSIONES .....	136
10- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	138
11- AGRADECIMIENTOS .....	155

## ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1. Valores de Unidades Haugh.....	53
Tabla 2. Principales ácidos orgánicos utilizados en producción animal y su pKa.....	64
Tabla 3. Porcentaje de postura. Medidas descriptivas y estimación por intervalo del 95%, según grupo de pertenencia y estación del año.....	107
Tabla 4. Conversión alimenticia por docena de huevo. Medidas descriptivas y estimación por intervalo del 95%, según grupo de pertenencia y estación del año.....	108
Tabla 5. Conversión alimenticia por Kg de huevo. Medidas descriptivas y estimación por intervalo del 95%, según grupo de pertenencia y estación del año.....	109
Tabla 6. Masa de huevo. Medidas descriptivas y estimación por intervalo del 95%, según grupo de pertenencia y estación del año.....	110
Tabla 7. Peso. Medidas descriptivas y estimación por intervalo del 95%, según grupo de pertenencia y estación del año.....	111
Tabla 8. Espesor de cáscara. Medidas descriptivas y estimación por intervalo de 95% según estación y grupo de pertenencia.....	112
Tabla 9. Índice de Yema. Medidas descriptivas y estimación por intervalo del 95% según grupo de pertenencia y estación del año.....	113

Tabla 10. Índice de Albúmina. Medidas descriptivas y estimación por intervalo del 95%, según grupo de pertenencia y estación del año.....	114
Tabla 11. Unidades Haugh. Medidas descriptivas y estimación por intervalo del 95 %, según estación y grupo de pertenencia.....	115
Tabla 12. Estimación, intervalo y desvío de la longitud de la mucosa yeyunal en $\mu\text{m}$ .....	117
Tabla 13. Promedio, desvío estándar y estimación de calcio total según estación y grupo de pertenencia.....	120
Tabla 14. Promedio, desvío estándar y estimación de magnesio según estación y grupo de pertenencia.....	121
Tabla 15. Promedio, desvío estándar y estimación de sodio según estación y grupo de pertenencia.....	122
Tabla 16. Promedio, desvío y estimación de potasio según estación y grupo de pertenencia.....	123
Tabla 17. Promedio, desvío y estimación para cloro según estación y grupo de pertenencia .....	124
Tabla 18. Promedio, desvío estándar y estimación de calcio ionizado según estación y grupo de pertenencia.....	125

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1. Evolución de la existencia de aves de postura, Argentina 2000-2020.....	29
Figura 2. Evolución de la producción de huevo en cáscara, Argentina 2000-2020.....	30
Figura 3. Formación de huevo.....	35
Figura 4. Capas de la cáscara del huevo.....	40
Figura 5. Estructura del huevo de gallina.....	45
Figura 6. Mecanismo de acción de los ácidos orgánicos.....	65
Figura 7. Principales funciones de la mucosa intestinal.....	71
Figura 8. Microbiota del ave.....	72
Figura 9. Mecanismos de disipación del calor en el ave.....	75

## ÍNDICE DE FOTOS

---

Foto 1. Interior del galpón.....	94
Foto 2. Pesaje de huevos.....	97
Foto 3. Espesor de cáscara.....	98
Foto 4. Largo de albúmina.....	100
Foto 5. Abanico de roche.....	101
Foto 6. Extracción de sangre.....	105
Foto 7. Superficie de mucosa yeyunal. Grupo tratado.....	118
Foto 8. Superficie de mucosa yeyunal. Grupo control.....	119

# **ABREVIATURAS**

## ABREVIATURAS

---

AO	Ácidos orgánicos
APC	Antibióticos promotores de crecimiento
Ca	Calcio
CaCo <sup>3</sup>	Carbonato de calcio
Cai	Calcio ionizado
Cat	Calcio total
Cl	Cloro
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CA	Conversión alimenticia
EC	Estrés calórico
FCV- UNR	Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Nacional de Rosario
H <sup>+</sup>	Protón
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Bicarbonato
IA	Índice de Albúmina
IY	Índice de Yema
K	Potasio

Mg	Magnesio
MI	Microbiota intestinal
mL	Mililitros
Na	Sodio
P	Fósforo
pCO <sup>2</sup>	Presión de dióxido de carbono
rpm	Revoluciones por minuto
TGI	Tracto gastrointestinal
UH	Unidades Haugh

# **1- RESUMEN**

## RESUMEN

---

El sector avícola continuamente se encuentra en búsqueda de nuevos aditivos para mejorar la eficiencia alimenticia, la salud y el bienestar animal. Además, la demanda de los consumidores que presionan por la sustentabilidad del medio ambiente, hace que las explotaciones exploren nuevos escenarios para maximizar los beneficios de la producción. El objetivo general de este trabajo fue evaluar la utilidad de los ácidos orgánicos como herramienta para potenciar el desarrollo de la flora gastrointestinal a partir de la disminución del pH y promover mejoras en la absorción de nutrientes con la consiguiente optimización de la producción de huevos. La experiencia se inició en abril de 2018 y tuvo una duración de un año. Se trabajó con 500 gallinas de la línea Lohmann Brown® a partir de las 24 semanas, y hasta las 80 semanas de vida. Las mismas se alojaron en un galpón de 4 x 16 metros, en el predio de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Nacional de Rosario, situado en la localidad de Casilda, provincia de Santa Fe. El mismo presentó dos líneas de jaulas con 3 hileras cada una, y se alojaron 2 aves por jaula. Se asignó, aleatoriamente el tratamiento, con 250 de las 500 gallinas disponibles, en cada línea, constituyéndose de esta manera el “Grupo Tratado” y el “Grupo Control”. Ambos grupos con idénticas condiciones sanitarias, de manejo y alimentación, excepto por el agregado de un blend de acidificantes a razón 2000 g por tonelada, en la dieta de las aves del Grupo Tratado. Las aves del Grupo Control, recibieron una dieta sin aditivos. El blend de ácidos utilizado fue SALGARD POLVO® (Formiato de amonio 20 g, Ácido fórmico 10 g, Propionato de amonio 10 g, Ácido propiónico 5 g). Para lograr el objetivo propuesto, se evaluaron parámetros zootécnicos, características de calidad externa e interna del huevo, medición de la longitud de las vellosidades intestinales y análisis séricos en relación al estrés calórico. Dentro de los parámetros zootécnicos, con la adición de acidificantes se observaron diferencias significativas en todos ellos, excepto en la mortalidad. En cuanto a las características externas e internas del huevo, se observaron mejoras significativas

para el espesor de cáscara y el peso del huevo, efecto que no se demostró para el índice de albúmina, unidades Haugh, índice de yema y color de yema. Se observaron diferencias significativas en la longitud de las vellosidades a nivel del yeyuno, en el Grupo Tratado, lo que se correlacionó con mejores índices productivos y de calidad externa del huevo. Para los análisis séricos se determinaron los niveles de calcio total, magnesio, sodio, potasio, cloro y calcio ionizado, con el fin de establecer si existieron variaciones estacionales de los electrolitos, en relación al estrés calórico, observándose diferencia significativa a favor del Grupo Tratado, en los meses de verano, en el sodio, cloro y calcio ionizado. Se puede concluir que el uso de este blend de ácidos, tuvo un efecto favorable sobre la mucosa intestinal, lo cual aumentó la superficie de absorción de nutrientes y dio como resultado una mejora en parámetros productivos, así como parámetros de calidad externa del huevo (peso y espesor de cáscara). También se observó una atenuación del estrés calórico, al lograr mejores niveles de calcio libre en sangre durante los meses de verano.

Palabras clave: aditivos, alimentación, producción de huevos, estrés calórico, espesor de cáscara, unidades Haugh, mucosa intestinal.

## **2- ABSTRACT**

## ABSTRACT

---

The poultry sector is constantly seeking new additives to improve feed efficiency, animal health, and welfare. Additionally, consumer demand for environmental sustainability is driving farms to explore new scenarios to maximize production benefits. The general objective of this work was to evaluate the usefulness of organic acids as a tool to enhance gastrointestinal flora development by reducing pH and promoting better nutrient absorption, thereby optimizing egg production. The study began in April 2018 and lasted for one year. It involved 500 Lohmann Brown® hens, starting at 24 weeks of age and continuing up to 80 weeks. The hens were housed in a 4 × 16 meter shed at the Faculty of Veterinary Sciences of the National University of Rosario, located in the town of Casilda, in Santa Fe province. The study used two lines of three-tier cages, housing two birds per cage. The treatment was randomly assigned to 250 out of the 500 available hens, thus forming the 'Treated Group' and the 'Control Group'. Both groups were kept under identical sanitary, management, and feeding conditions, except for the addition of an acidifier blend at a rate of 2000 g per ton in the diet of the hens in the Treated Group, except that the Treated Group's diet included a blend of acidifiers at a rate of 2000 g per ton, while the Control Group received a diet without additives. The acid blend used was SALGARD POWDER® (Ammonium formate 20g, Formic acid 10g, Ammonium propionate 10g, Propionic acid 5g). To achieve the study's objective, the researchers evaluated zootechnical parameters, external and internal egg quality characteristics, intestinal villi length, and blood serum analysis in relation to heat stress. Among the zootechnical parameters, the addition of acidifiers led to significant differences in all aspects except mortality. Regarding the external and internal characteristics of the egg, significant improvements were observed in eggshell thickness and egg weight, but no significant changes were noted in albumen index, Haugh units, yolk index and yolk color. Significant differences were also observed in intestinal villi length in favor of the Treated Group, which suggests improved nutrient absorption and

gut health. To analyze seasonal variations in electrolytes related to heat stress, ionized calcium levels were measured, showing a significant advantage for the Treated Group in sodium, chlorine, and ionized calcium levels during summer. It can be concluded that using this acid blend positively affects intestinal mucosa, increasing the nutrient absorption surface and resulting in improved productive parameters, as well as enhanced external egg quality (weight and eggshell thickness). Additionally, a reduction in heat stress was observed, leading to better blood calcium levels during the summer months.

Keywords: additives, nutrition, egg production, heat stress, eggshell thickness, Haugh units, intestinal mucosa.

## **3- INTRODUCCIÓN**

## INTRODUCCIÓN

---

Los antibióticos promotores de crecimiento (APC) son sustancias que, agregadas en la alimentación de los animales de producción, pueden lograr mejoras en los parámetros zootécnicos y, consecuentemente, optimizar la eficiencia productiva. Durante años fueron utilizados con este objetivo, pero en las últimas décadas diversos países comenzaron a restringir su utilización, hasta llegar a la actualidad donde está prohibido su uso. En Argentina la Resolución de SENASA N°445/2024 prohíbe la incorporación de antibióticos en la formulación de alimentos balanceados con fines de promoción de crecimiento, mejorador del desempeño y/o de la eficiencia alimentaria de los animales (SENASA, 2024).

La prohibición del uso de los APC, surge debido a la creciente resistencia microbiana, esto, sumado a la demanda de los consumidores presionando por la sustentabilidad del medioambiente, salud y bienestar animal, hace que las producciones avícolas exploren nuevos escenarios para maximizar los beneficios de la producción a través de la inclusión de nuevos aditivos.

López (2009), describe que existe un marcado interés en utilizar alternativas naturales a los APC como enzimas, prebióticos, probióticos, extractos de plantas y acidificantes, los cuales pueden limitar el número de bacterias patógenas, mejorar la capacidad de absorción del intestino y el rendimiento productivo. La Unión Europea por su parte, permite el uso de acidificantes por considerarlas sustancias seguras ya que, al no abandonar el tracto digestivo, no dejan residuos en los productos animales.

Los ácidos orgánicos (AO) y sus sales inhiben el crecimiento bacteriano en los alimentos y, consecuentemente, preservan el balance microbiano en el tracto gastrointestinal de los animales. Además, al modificar el pH del intestino, los AO, también mejoran la solubilidad de los ingredientes, la digestión y la absorción de los nutrientes (Yesilbag, 2006).

Por su parte Jaramillo (2009), señala que los AO tienen ciertas ventajas frente a otras sustancias acidificantes, tal como la no inactivación en presencia de cloro, son estables a variaciones de pH, la luz y altas temperaturas, y son activos en presencia de materia orgánica.

Según Cabrera (2014) con el objetivo de brindar al mercado animales sanos y libres de medicamentos que podrían afectar a la salud humana, se usan los acidificantes que intervienen en las dietas alimenticias preservándolas ya que éstas son atacadas por organismos patógenos como hongos, bacterias, etc. Estas sustancias reducen también el pH del tracto gastrointestinal, evitando el ambiente propicio para la proliferación de los microorganismos patógenos, que afectan a la salud y al bienestar animal, impidiendo alteraciones de la flora intestinal. Un ligero descenso del pH observado en el sistema digestivo del ave, inhibe patógenos importantes como la *Salmonella* y *Coliformes*, favoreciendo la microflora intestinal, este microambiente intestinal, además, mejora los procesos digestivos al suplementar las secreciones gástricas ácidas.

La acidificación favorece e intensifica ciertas funciones biológicas naturales de las aves para producir no sólo un incremento de la viabilidad, ritmo de crecimiento e índice de conversión, sino también mejorar la uniformidad en el lote. Además, se ha determinado que el uso de AO, mejora los parámetros de calidad del huevo (índice de yema, índice de albúmina, dureza de la cáscara y resistencia a la rotura de la cáscara). La modificación del pH intestinal, a través de los AO, se traduce en una mejora en la solubilidad de los ingredientes, digestión y absorción de los mismos, esto llevaría a un aumento en la disponibilidad de calcio (Ca) y fósforo (P) por la disminución del pH y la estimulación de la longitud de las microvellosidades intestinales. Swiatkiewicz *et al.* (2010), observan mejoras en estos parámetros de calidad, en un estudio en el que suplementan gallinas de alta producción con acidificantes y evalúan los resultados entre las semanas 46 y 70 de postura.

Por su parte, Van Immerseel *et al.* (2006), reportan resultados significativos en la disminución de *Salmonella Enteritidis* en los ciegos y órganos internos de pollos suplementados con AO.

Cuando las gallinas ponedoras sufren estrés calórico (EC) se refleja con un desempeño zootécnico negativo, afectando la salud intestinal, desbalance electrolítico e incluso comprometiendo la respuesta inmune del ave. Además, las temperaturas cíclicas causan alteraciones cuantitativas profundas entre varias especies microbianas de la flora intestinal debido a que las temperaturas elevadas ocasionan una disminución de lactobacilos en el intestino, modificando las relaciones numéricas entre especies saprofitas y patógenas; también se produce un aumento de *Enterobacteriaceae*, *Staphylococcus* y *Clostridium* en el intestino con disminución concomitante de *Lactobacillus*. Puede darse una interacción múltiple entre química sanguínea, ecología intestinal y sobrecarga digestiva que lleve a la muerte del animal. Los datos sugieren que la suplementación con acidificante tiene el potencial de reducir las pérdidas económicas causadas por el EC (Javierre, 2006).

El EC, influye sobre el comportamiento productivo y reproductivo de las gallinas ponedoras, disminuye la producción y calidad del huevo, así como la ingesta voluntaria de alimento, ocasiona la alteración de las hormonas responsables de la ovulación, reduce la capacidad de respuesta de las células de la granulosa a la hormona luteinizante. Por tal motivo, resulta de gran interés el conocimiento y valoración del efecto del clima sobre la producción y calidad del huevo en gallinas ponedoras (Corona Lisboa, 2017).

La exposición crónica al calor en gallinas, disminuye significativamente la digestión de las proteínas, grasas y carbohidratos del alimento balanceado, limitando la disposición y transporte de nutrientes como Ca y P a nivel celular para la formación del huevo (Star *et al.*, 2008 como se citó en Corona Lisboa, 2017).

El EC también altera el equilibrio de los electrolitos en sangre, que son sustancias que regulan varias funciones entre las cuales se incluyen el pH, la presión osmótica, la actividad enzimática y la función nerviosa y muscular de las aves. Provoca una hiperventilación o jadeo del ave para tratar de eliminar el exceso de calor, y consecuentemente, alteración del equilibrio ácido-base de la sangre. Esta hiperventilación, conlleva una pérdida de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) importantes para mantener el pH de la sangre. Además, el ave pierde agua y electrolitos por la evaporación a través de las vías respiratorias. El EC también reduce el consumo de alimento, lo que disminuye la ingesta de nutrientes y electrolitos. Por estas razones, el EC puede causar una disminución de la producción y la calidad del huevo, así como problemas de salud y bienestar en las aves (Corona Lisboa, 2017).

La mucosa intestinal es la encargada de absorber los nutrientes que se suministran en el alimento de los animales, tiene una morfología en forma de dedos denominada vellosidades con el fin de aumentar la superficie de contacto con el alimento. Estas estructuras presentan un crecimiento rápido a partir del segundo día después de la eclosión del huevo como respuesta al cambio en la fuente de nutrientes, y continúan creciendo de manera constante durante el ciclo productivo (Uni *et al.*, 1998). Debido a la relación fisiológica de estas estructuras con la productividad, es de gran importancia mantener la integridad de la mucosa por medio del uso de aditivos alimentarios (Pelicano *et al.*, 2005).

Estudios realizados por Barrera-Barrera *et al.* (2014), muestran que el uso de ácido cítrico y probióticos en la dieta de pollos de engorde, favorece el desarrollo pos-eclosión de la morfometría duodenal y los parámetros zootécnicos en este tipo de producción.

Por su parte, un estudio realizado por Elnesr *et al.* (2020) demuestra que el butirato de sodio podría ser una alternativa potencial para mejorar la salud intestinal y reemplazar los antibióticos en la industria avícola. La salud del tracto gastrointestinal (TGI) contribuye al rendimiento general y la salud de las aves. Este acidificante, juega

un papel importante en el mantenimiento de la integridad de la mucosa intestinal, como lo demuestra la mejora en la histomorfometría del intestino.

En las últimas décadas las investigaciones en el ámbito de la nutrición animal fueron dirigidas, en parte, a la búsqueda de aditivos para la mejora del rendimiento animal, pero a la vez atendiendo el bienestar, la sustentabilidad y la salud pública, una potente muestra de ellos son los acidificantes.

En la presente Tesis Doctoral se planteó la hipótesis de que el uso de acidificantes en la dieta de gallinas ponedoras, reduciría el pH del tracto gastrointestinal, favoreciendo la absorción de nutrientes, lo cual llevaría a una mejora en los parámetros productivos, calidad de huevo y una reducción del EC.

Para ello, se suplementó al alimento balanceado con un blend de ácidos y luego se estudiaron:

- Parámetros zootécnicos
- Características externas e internas del huevo
- Longitud de las vellosidades a nivel del yeyuno
- Electrolitos en sangre en relación con el estrés calórico

## **4- MARCO TEÓRICO**

## MARCO TEÓRICO

---

Con la presente revisión bibliográfica se pretende fundamentar y relacionar cada una de las partes del trabajo, para tal fin se presenta en el siguiente orden:

4.1 Producción de huevo para consumo. Situación actual.

4.2 Aparato reproductor de la gallina, formación y estructura del huevo. Calidad del huevo.

4.3 El uso de antibióticos como promotores de crecimiento.

4.4 Ácidos orgánicos.

4.5 Intestino delgado. Mucosa intestinal.

4.6 Estrés calórico.

4.7 Conceptos generales del equilibrio ácido-base.

4.8 Electrolitos y su importancia en la fisiología del ave.

## 4.1- PRODUCCIÓN DE HUEVO PARA CONSUMO. SITUACIÓN ACTUAL

En el último medio siglo, en los sectores de producción de carne y huevos de la industria avícola mundial se ha asistido a un incremento significativo de la productividad de las poblaciones de aves de corral modernas. Las sinergias son consecuencia de los progresos realizados en todas las actividades principales relacionadas con el manejo y alojamiento de las aves de corral, la nutrición y la formulación de raciones alimenticias, la aplicación de los conocimientos sobre genética en los programas de cría comercial y un mejor diagnóstico y control de las enfermedades avícolas (Bagust, 2013).

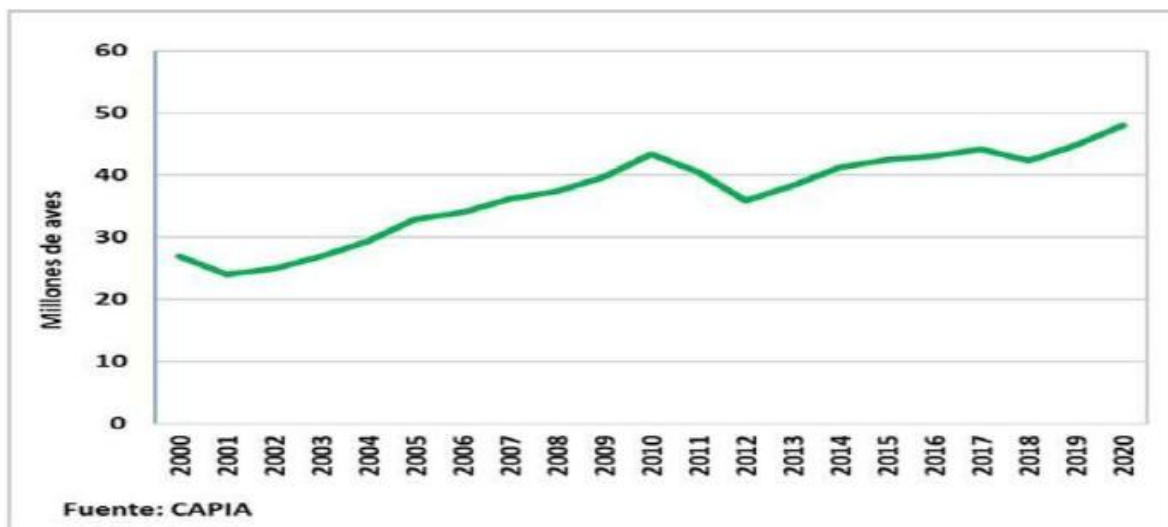
Los datos más recientes de la FAO ubican la producción mundial de huevo de gallina para el año 2022 en 82,4 millones de toneladas. China ha sido el mayor productor mundial de huevos durante los últimos 30 años. Le siguen en orden de importancia, Estados Unidos e India, y estos tres en conjunto producen casi el 56% de los huevos del mundo. Los siguientes seis productores más grandes ocupan el 20% del mercado, lo que significa que los 10 principales productores de huevos representan más de  $\frac{3}{4}$  de la producción mundial (Paolilli *et al.*, 2022).

Durante el año 2020 se produjo una disminución de la producción mundial, lo cual se atribuye a la caída en la demanda de la industria de alimentos, principalmente en la hotelería y restaurantes, como efecto colateral de la Pandemia Covid-19. En Argentina, esta demanda representaba el 17%, volcándose al mercado interno y llevando el consumo *per capita* a 300 huevos por habitante por año (Paolilli *et al.*, 2022).

Actualmente esta cifra creció a 322 huevos *per capita*, posicionando a la Argentina en el 3<sup>er</sup> lugar del ranking mundial, detrás de México y Japón (CAPIA, 2023).

En Argentina, se observó un fuerte incremento del stock de aves livianas, pasando la población de aves en postura de 42,4 a 48 millones, como se puede observar en la figura N°1, registrándose a fines de 2020, el máximo del período bajo análisis (CAPIA, 2022)

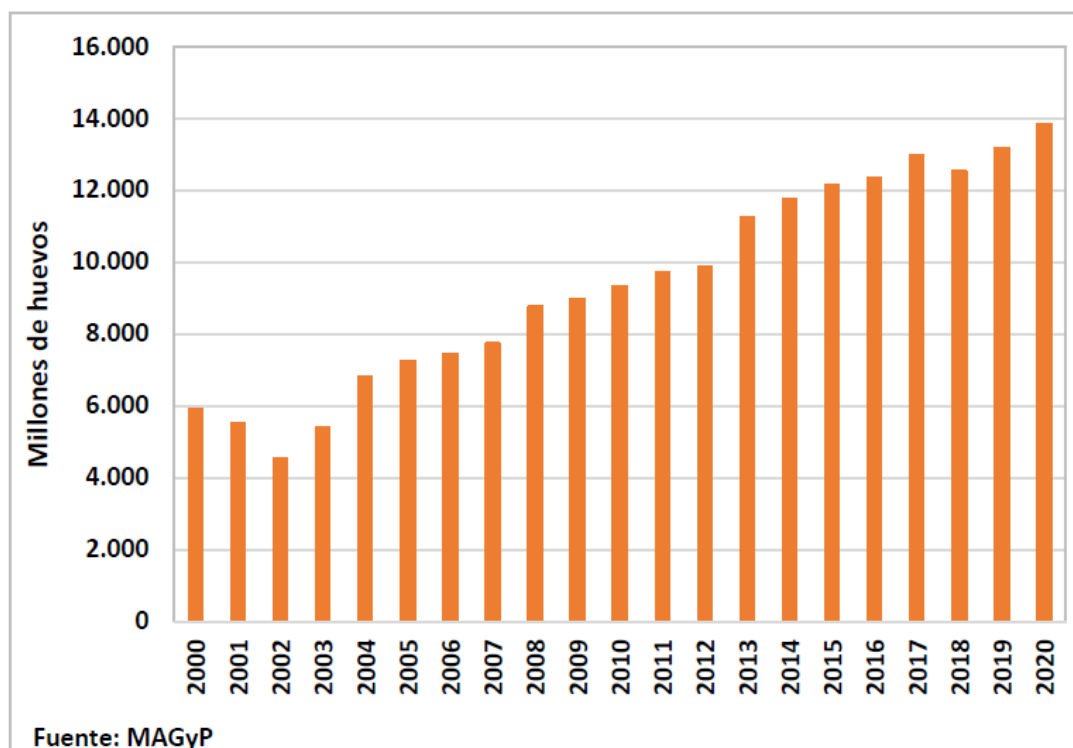
**Figura N°1: Evolución de la existencia de aves de postura, Argentina 2000-2020**



El crecimiento sostenido de la producción comenzó a partir del 2003, como se puede ver en la figura N°2, año en que se abrió el mercado externo para el huevo en cáscara, al mismo tiempo que se incrementó la cantidad de huevos destinados a la industria de escala nacional. El período más expansivo en la producción se observa entre los años 2003 y 2013 registrándose una tasa de crecimiento anual promedio del orden del 9%, con una producción promedio de 8.414 millones de huevos frescos.

A partir de 2014 y hasta el año 2020 se produce un crecimiento promedio de la producción del 3% anual (se pasa de 11.774 a 13.862 millones de huevos en cáscara), observándose una disminución del 3,5% de la producción en el año 2018 producto de la reducción de las existencias de aves de postura. La producción de casi catorce mil millones de huevos frescos marcó, a fines del año 2020, un record histórico (Paolilli *et al.*, 2022).

**Figura N°2: Evolución de la producción de huevo en cáscara,  
Argentina 2000-2020**



Actualmente, el huevo argentino en sus distintas variantes es un producto con fuerte presencia en el mundo, con más de 50 mercados internacionales abiertos. El parque productivo de ponedoras está compuesto por 51,62 millones de aves y en diciembre de 2022, antes de la llegada de la influenza aviar, registraba un crecimiento del orden del 8,46% con respecto al año 2021. La producción estimada de huevos en 2023 alcanzó 15.808 millones de unidades, aumentando 3% respecto a 2022, acaparando el mercado local el 96,8%, mientras que el restante 3,2% tiene como destino la exportación. Asimismo, el país cuenta con más de 1.000 granjas avícolas en actividad, distribuidas en 18 provincias (CAPIA, 2023).

## **4.2- APARATO REPRODUCTOR DE LA GALLINA, FORMACIÓN Y ESTRUCTURA DEL HUEVO. CALIDAD DEL HUEVO**

### **4.2.1- Aparato reproductor y formación del huevo**

A continuación se resume la anatomía y fisiología del aparato reproductor, tomando como referencia los siguientes autores: Menher (1969), Schwarze (1980), North (1986), Castello Llovet (1989), Hy Line (2017).

Las hembras de muchas especies de animales tienen dos ovarios funcionales, sin embargo, en las aves solamente se desarrolla el ovario izquierdo y su correspondiente oviducto. El tiempo para la formación del huevo en el oviducto es aproximadamente de 24 a 28 horas, desde el momento de la ovulación hasta la postura del mismo (figura N°3).

#### Ovario

El ovario de una gallina adulta, tiene aproximadamente 1,2 a 3,4 cm de longitud, 0,8 a 2,2 cm de ancho y 0,35 a 1 cm de alto. A la edad de cuatro a seis meses, el ovario izquierdo entra en actividad, período en que la gallina alcanza la madurez sexual, esto ocurre cuando pone su primer huevo. Cuando nace la pollita bebé, sus ovarios son pequeños, con una zona medular y otra cortical con numerosos ovocitos poco desarrollados, disminuyendo a 1.100-1.600 en la gallina adulta.

Durante los dos a tres meses siguientes, los folículos aumentan progresivamente de tamaño, de tal forma que 10 días antes de la primera puesta, toda una serie de folículos han experimentado un considerable aumento de volumen. Esta evolución acelerada es consecuencia de un incremento en la producción de la hormona folículo estimulante, segregada por el lóbulo anterior de la hipófisis.

El ovocito está rodeado por una membrana folicular ricamente vascularizada, esta membrana está encargada de producir el vitelo acumulado por el ovocito en el curso de su desarrollo. En consecuencia, la actividad del ovario se inicia generando las

hormonas: estrógenos, progesterona y testosterona; y aumentando el tamaño del folículo por la hormona folículo estimulante. Los altos niveles de estrógeno, estimulan al hígado para la formación de proteínas y lípidos que llegarán a la yema a través de la sangre.

También aumenta el tamaño del oviducto, preparándolo para la producción de proteínas y de la albúmina, membranas de la cáscara y cutícula.

Después de 1 a 2 días se inicia la formación de la segunda yema, y así sucesivamente hasta que hay 5-10 yemas en formación, momento en el cual se produce la primera oviposición. Es decir que se precisan de 8 a 10 días para que madure la yema.

Desde el comienzo del período de crecimiento, la pared del folículo ovárico presenta una zona menos vascularizada (estigma) cuyo espesor disminuye progresivamente. A este nivel es donde se produce la dehiscencia folicular.

Cuando el folículo madura, se rompe y libera el óvulo en el oviducto (ovulación). La ovulación ocurre generalmente minutos después de la oviposición.

La yema no se somete a un mayor desarrollo después de la ovulación.

## Ovulación

Es el proceso por el cual se desprende el óvulo para entrar al oviducto. Una vez maduro el óvulo, se produce progesterona que estimula la liberación de la hormona luteinizante que causa la ruptura del estigma, y el desprendimiento del óvulo. El óvulo es captado por el infundíbulo del oviducto, lugar donde se produce la fecundación en gallinas reproductoras.

## Oviducto

Es un tubo a través del cual pasa la yema, lugar donde se secretan las partes restantes del huevo. Normalmente es de diámetro relativamente corto, pero con la aproximación de la primera ovulación se expande en tamaño y grosor.

## Infundíbulo

Es la parte superior del oviducto y tiene forma de embudo. El tamaño aproximado del órgano funcionando es de 9 cm. Normalmente es inactivo, excepto inmediatamente después de la ovulación, en donde, alcanza y engloba o capta a la yema para hacerla entrar en el oviducto. La yema sólo permanece 15-30 minutos, aquí se forman las dos capas más externas de la membrana vitelina que protege la yema e impide el ingreso de agua desde la clara, luego a través de contracciones del oviducto, la yema sigue su camino. Además, éste es el único lugar donde se produce la fecundación.

## Magnum

La parte más grande del oviducto es el magnum, donde la albúmina o “clara de huevo”, se añade alrededor de la yema. Su longitud en una ponedora es alrededor de 33 cm y su paso por el mismo es de 3 horas aproximadamente.

Otra de las estructuras que aquí se forman son las chalazas, dos cordones que se extienden hacia los polos opuestos de la yema a través de la albúmina. Su función es la de mantener la yema en el centro del huevo, después de la postura. El huevo va rotando a medida que avanza y esto es la causa del aspecto entrelazado de las chalazas.

## Istmo

Es un tramo corto de 10 cm de longitud, donde el huevo permanece aproximadamente una hora y cuarto. Esta región del oviducto es donde las membranas de la cáscara (interior y exterior) se añaden al huevo en formación.

Cada membrana está formada por una red de fibras orgánicas dispuestas sobre la albúmina en una disposición paralela a la superficie de la cáscara. Estas membranas testáceas (o fáfarras) están compuestas por fibras de proteínas, y están íntimamente unidas hasta el momento de la oviposición, en que los materiales líquidos internos del huevo se contraen al enfriarse éste.

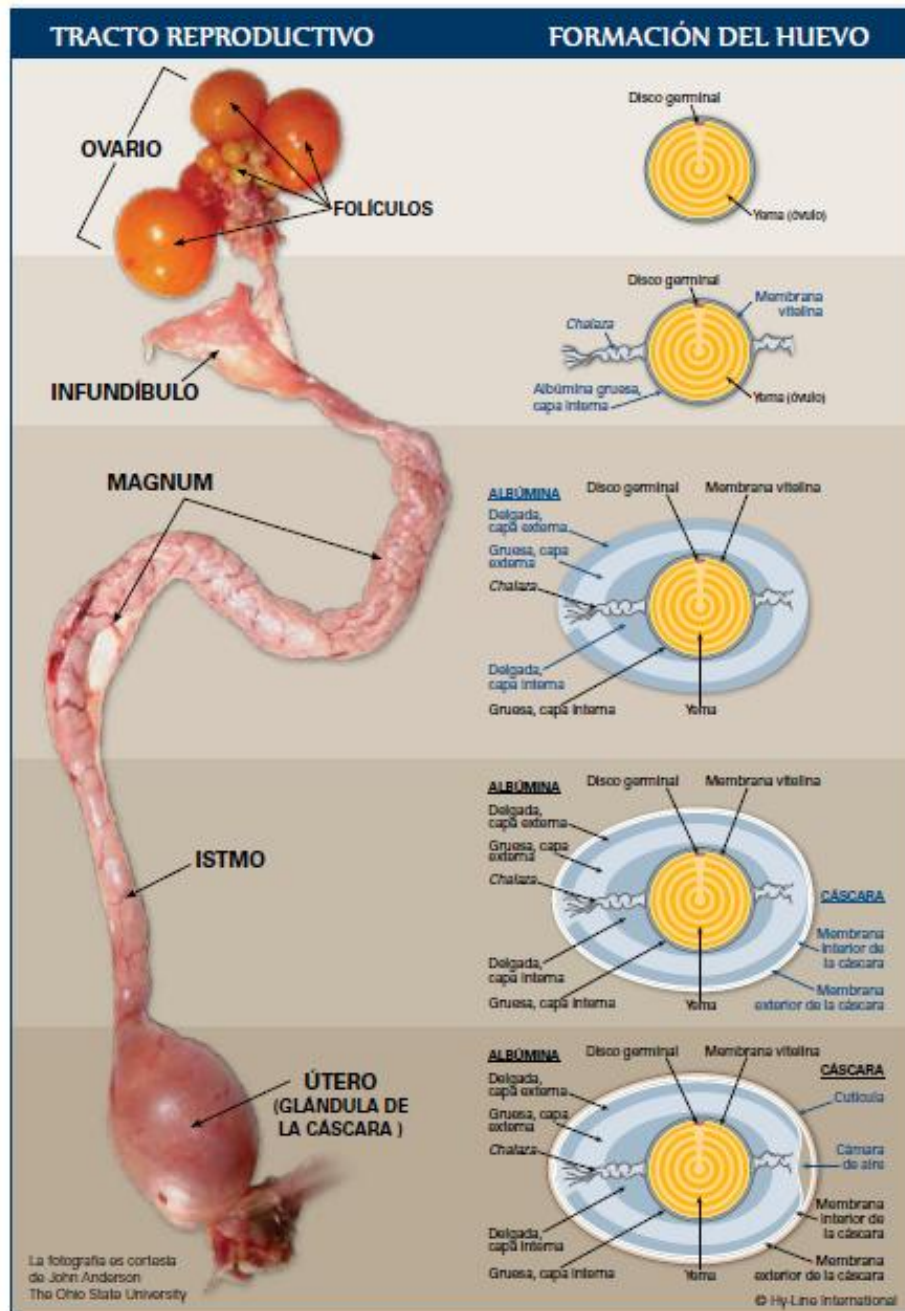
La temperatura del huevo en la oviposición es de aproximadamente 41 °C (la de la gallina) al entrar en contacto el huevo con el medio ambiente (más fresco) sufre dicha retracción, que ocurre en el polo mayor del huevo, dando origen a la cámara de aire, cuyo tamaño variará con la edad del huevo, recién puesto es de unos 2 a 4 mm, pero si el huevo se almacena por mucho tiempo puede alcanzar varios cm y permite estimar el grado de envejecimiento del mismo.

Esta cámara cumplirá, en caso de ser un huevo fecundado, una función esencial en el desarrollo embrionario entre los días 18 a 21, período en el cual se produce el cambio de la respiración corioalantoidea a pulmonar.

Las membranas de la cáscara o testáceas, actúan como barrera para evitar la penetración de microorganismos externos como bacterias, virus, hongos, etc. También previenen la evaporación rápida y protegen el contenido del huevo.

En el istmo, las estructuras especializadas llamadas cuerpos mamilares son secretadas en las membranas de la cáscara, estas estructuras son importantes en la calcificación de la cáscara.

Figura N°3: Formación del huevo



Fuente: Hy Line, 2017

## Útero

Tiene una longitud de 10 a 12 cm y el huevo permanece allí entre 18 a 22 horas aproximadamente. El útero también se conoce como la glándula de la cáscara o cámara calcífera y es el sitio en el cual se forma la cáscara. A medida que el óvulo sale del istmo, las membranas de la cáscara están flojas y arrugadas. Las mismas se compactan cuando el huevo entra al útero por medio de un proceso llamado “estructuración”.

La hidratación de la albúmina se hace a través de las membranas. El volumen de albúmina se duplica durante el proceso de “estructuración”, dándole al huevo su forma final. Es muy importante que se estire la membrana de la cáscara para que se compacte y se remuevan las arrugas formándose la arquitectura apropiada de la cáscara, así como para optimizar la transferencia de Ca durante la formación de la misma.

El alto flujo de sangre en el útero es esencial para transferir grandes cantidades de Ca al huevo. Normalmente, se añaden de 2 a 3 gramos de Ca durante la formación de la cáscara. Los iones de Ca y carbonato de la sangre son transferidos al líquido uterino que baña la membrana exterior de la cáscara.

## Capas de la cáscara de huevo (figura N°4)

### Membrana de la Cáscara

Las membranas de la cáscara se añaden al huevo en la sección del istmo del oviducto. La calcificación de la cáscara se forma sobre estas membranas. Los defectos en la membrana de la cáscara o la falta de “estructuración” de la albúmina causarán una calcificación defectuosa, mala estructura y debilidad en la cáscara.

## Capa Mamilar

En el istmo, los cuerpos mamilares se desarrollan en la membrana del huevo.

Estos cuerpos están firmemente fijos en la membrana externa de la cáscara y son importantes para iniciar el proceso de la calcificación de la cáscara. Los cuerpos mamilares deben formar una cubierta continua, sobre toda la membrana de la cáscara. La distribución de los cuerpos mamilares está bajo control genético.

Los problemas que ocurran en esta capa resultarán en una mala organización de la estructura de la cáscara y en una debilidad de su resistencia.

## Capa de la Matriz Orgánica

Dentro del útero, la calcificación de la cáscara inicia con la producción de una matriz de fibras de proteína. La matriz orgánica se encuentra por toda la capa cristalina de la cáscara entrelazándose donde ocurre la cristalización de las sales de Ca durante la formación de la cáscara. La matriz orgánica añade fortaleza a la cáscara orientando adecuadamente los cristales de Ca formando una arquitectura entrelazada (en columnas).

Las fibras de proteína de la matriz orgánica generalmente están orientadas paralelas a la superficie de la membrana de la cáscara y le proporcionan a ésta, su elasticidad y resistencia al impacto. Los problemas en la formación de la matriz orgánica tendrán un impacto negativo en la resistencia de la cáscara, incluso con un espesor adecuado. Las cáscaras que se forman con una capa de matriz orgánica deficiente serán más “frágiles” y propensas a romperse.

### Capa Cristalina Entrelazada

La capa cristalina está hecha de cristales de Ca densamente agrupados en forma entrelazada o de columnas. Estas columnas de cristales de Ca están orientadas perpendicularmente en la superficie de la cáscara para darle mayor resistencia. Eventualmente, las columnas se fusionan formando una cerámica al aumentar el espesor de cáscara. La mayoría de los cristales (96%) son de Carbonato de Ca ( $\text{CaCO}_3$ ) con pequeñas cantidades de cristales de carbonato de magnesio y fosfato tricálcico. El magnesio (Mg) es importante para añadir dureza a la estructura de la cáscara.

La capa cristalina da la mayor proporción al espesor de la cáscara y provee una resistencia mecánica. La cantidad de cáscara depositada en el huevo se determina por el tiempo que permanece en el útero y por la proporción de Ca transferido a través del fluido uterino.

Normalmente, el ave secreta diariamente una cantidad de Ca relativamente constante para la formación de la cáscara del huevo independientemente del tamaño del mismo. El espesor de la cáscara disminuye con la edad del ave ya que el huevo se vuelve más grande, también la tasa de esta disminución se ve afectada por la dieta y la genética. El espesor de la cáscara se recupera después de la muda. El estrés por calor y las enfermedades pueden afectarlo negativamente.

### Capa de Cristal Vertical

La capa de cristal vertical es la última capa de la cáscara. Esta es una capa delgada formada de cristales de Ca densos orientados perpendicularmente en la superficie de la cáscara, dándole dureza y a su vez, un aspecto suave a la superficie de la cáscara.

## Capa de Pigmento

El pigmento de la cáscara se deposita al final del proceso de calcificación de la cáscara. Se debe principalmente a la protoporfirina y biliverdina, que se producen durante el metabolismo de la hemoglobina, la molécula que transporta oxígeno a los glóbulos rojos. El pigmento se transporta en la sangre desde el hígado hasta el útero.

El pigmento de la cáscara también puede producirse en los glóbulos rojos dentro del útero. La producción de pigmento de la cáscara es mayor en las aves jóvenes y disminuye gradualmente conforme avanza la edad. Normalmente, una gallina adulta secreta una cantidad relativamente constante de pigmento independientemente del tamaño del huevo. El color de la cáscara, no afecta a la calidad, ni a las propiedades nutricionales del huevo.

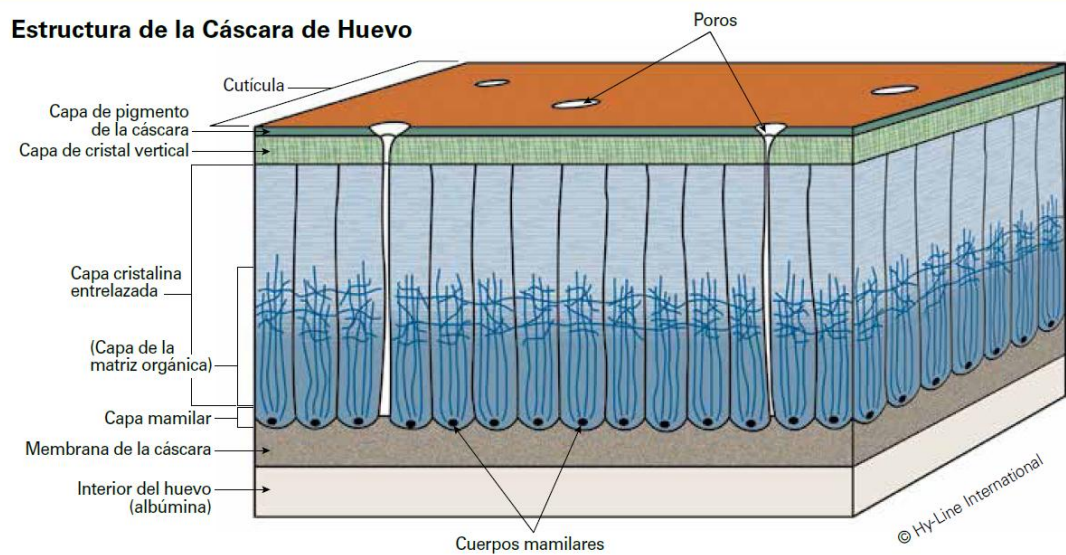
## Cutícula

La última capa externa de la cáscara es la cutícula. Esta es la capa proteínica no-calcificada que se añade a la cáscara justo antes de salir del útero. La cutícula es responsable de la apariencia lisa y brillante que presenta un huevo recién puesto. La cutícula protege al huevo de la invasión de microorganismos y es de gran importancia para la seguridad alimentaria del huevo. Es por ello, que las normativas no permiten el lavado de los huevos, ya que esta práctica puede dañar e incluso eliminar por completo esta capa protectora.

En la superficie de la cutícula hay poros (orificios) que se extienden a través de la capa calcificada de la membrana del huevo. Estos poros son responsables del intercambio de gases (oxígeno hacia el interior del huevo y CO<sub>2</sub> hacia afuera) y de la pérdida de vapor de agua del interior del huevo.

La cutícula tapa estos poros. Normalmente un huevo de gallina contiene de 6.500 a 8000 poros, con una mayor concentración de poros al final de la punta de la cáscara sobre la cámara de aire (Hy Line, 2017).

Figura N°4: Capas de la cáscara del huevo



Fuente: Hy Line (2017)

## Vagina

La vagina no tiene ningún papel en el desarrollo del huevo. El huevo se mantiene en la vagina hasta que el ave ha anidado y está lista para poner el huevo (Hy Line, 2017).

## Cloaca

Aquí se retiene al huevo completo, antes de la oviposición (postura), generalmente se expulsa rápido pero puede también permanecer varias horas.

Generalmente, y si la gallina no es molestada, el huevo sale con el extremo más ancho primero, ya que la rotación la lleva a cabo en la cloaca.

### **4.2.2- Estructura del huevo**

En la figura N°5 se esquematiza la estructura del huevo de gallina. Si bien los huevos pueden variar en su forma, tamaño y color, todos tienen los mismos componentes: yema, albúmina y cáscara.

Destacando que es un alimento altamente nutritivo, con pocas calorías (75 cal por unidad de 60 g aproximadamente), brindando una gran cantidad de vitaminas como B1, B2, B6, B12, E, D y A, folato y minerales como hierro (altamente biodisponible) y zinc, además de proteínas del más alto valor biológico y sustancias muy importantes como luteína, zeaxantina y colina entre otras (Antruejo, 2009).

## Yema

La yema constituye el 30% del volumen total del huevo. Es la parte central y anaranjada del mismo. Está rodeada de la membrana vitelina, que da la forma a la yema y permite que ésta se mantenga separada de la clara o albumen. En la yema se encuentran las principales vitaminas, lípidos y minerales del huevo y por ello es la parte nutricionalmente más valiosa. Su contenido en agua es de aproximadamente el 50%.

Los sólidos o materia seca se reparten equitativamente entre proteínas y lípidos, quedando una fracción pequeña para vitaminas, minerales y carotenoides. Estos

últimos son compuestos de efecto antioxidante y los responsables del color amarillo, que varía en tono e intensidad en función de la alimentación de la gallina.

En su interior se encuentra el disco germinal o blastodisco, que es un pequeño disco claro en la superficie de la yema, lugar en el que se inicia la división de las células embrionarias cuando el huevo está fecundado (blastodermo).

Ocasionalmente pueden encontrarse huevos con dos yemas. Esto es debido a que la gallina produce en una misma ovulación dos óvulos en lugar de uno, que es lo corriente. Este accidente fisiológico es más común en las aves al principio del período de puesta. Las manchas de color rojizo o marrón que a veces aparecen en el interior del huevo no deben confundirse con el desarrollo embrionario, sino que son simplemente células epiteliales procedentes del oviducto que se han desprendido al formarse el huevo y que no presentan problema alguno para su consumo (Instituto de estudios del huevo, 2017).

### Albúmina

La albúmina o clara de huevo representa el 60% del huevo. En la clara se distinguen dos partes según su densidad: el albumen denso y el fluido. El albumen denso rodea a la yema y es la principal fuente de riboflavina y de proteína del huevo. El albumen fluido, es el más próximo a la cáscara. Cuando se casca un huevo fresco se puede ver la diferencia entre ambos, porque el denso rodea la yema y ésta flota centrada sobre él. A medida que el huevo pierde frescura, el albumen denso es menos consistente y termina por confundirse con el fluido, quedando finalmente la clara muy líquida y sin apenas consistencia a la vista.

La clara o albumen está compuesta básicamente por agua (88%) y proteínas (cerca del 12%). La proteína más importante, no solo en términos cuantitativos (54% del

total proteico) es la ovoalbúmina, cuyas propiedades son de especial interés tanto desde el punto de vista nutritivo como culinario.

Además de la ovoalbúmina, otras proteínas importantes en la clara son: ovotransferrina, ovoglobulina y la ovomucina, que es una proteína fibrosa, importante para la calidad de la albúmina, ya que mantiene la albúmina como un gel, que le da forma y sustancia. Un huevo fresco, de buena calidad está asociado con una albúmina compacta, “apilada” con apariencia similar a un gel.

La albúmina acuosa se asocia con un huevo viejo y no es el preferido por los consumidores. La cantidad de albúmina gruesa es mayor cuando el huevo es recién puesto, después de esto la albúmina comienza a cambiar lentamente y se convierte en albúmina delgada debido a la acción de la enzima lisozima.

La riqueza en aminoácidos esenciales de la proteína de la clara del huevo y el equilibrio entre ellos hacen que sea considerada de referencia para valorar la calidad de las proteínas procedentes de otros alimentos. En la cocina, la ovoalbúmina es particularmente interesante en la elaboración de muchos platos debido a la estructura gelatinosa que adquiere cuando se somete a la acción del calor. En la clara se encuentran algo más de la mitad de las proteínas del huevo y está exenta de lípidos.

Otro componente que se encuentra dentro de su composición es la glucosa, el principal azúcar presente en el albumen. Adicionalmente, tiene vitaminas hidrosolubles, especialmente del complejo B.

La clara es transparente, aunque en ocasiones pueda presentar alguna «nube» blanquecina que no supone ningún problema para su consumo y suele estar relacionada con la frescura del huevo.

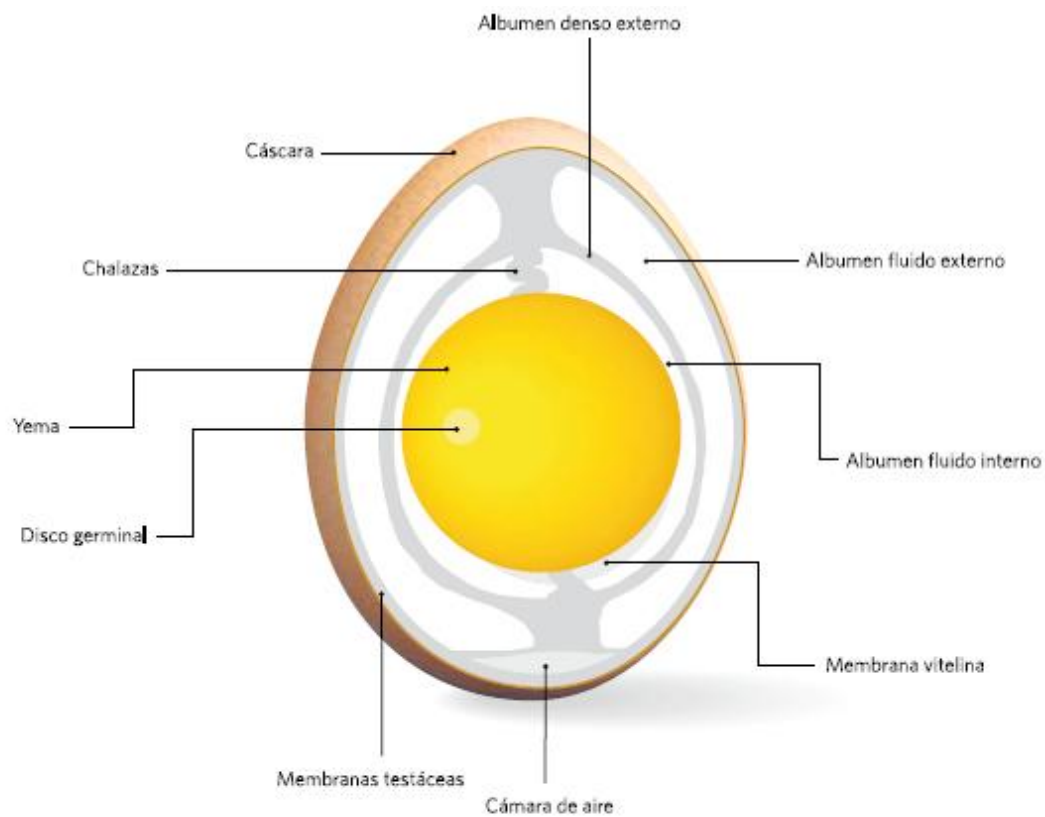
Sujetando la yema para que quede centrada se encuentran unos engrosamientos del albumen denominados chalazas, con forma de filamentos enrollados, que van

desde la yema hasta los dos polos opuestos del huevo (Instituto de Estudios del huevo, 2017).

### Cáscara

La cáscara representa el 10% del peso del huevo, es la cubierta exterior y tiene gran importancia, ya que mantiene su integridad física y actúa como barrera bacteriológica. El 95% de su estructura está conformada por minerales como el  $\text{CaCO}_3$  y carbonato de magnesio. También se encuentran en su composición otros minerales como sodio (Na), Mg, cinc, manganeso, hierro, cobre, aluminio y boro, en menores concentraciones, además colágeno, glicoproteínas, mucoproteínas y mucopolisacáridos.

Figura N°5: Estructura del huevo de gallina



Fuente: Instituto de estudios del huevo (2017)

### Las barreras del huevo

Las barreras físicas que evitan de forma mecánica la penetración y progresión bacteriana hacia la yema del huevo son la cutícula, la cáscara, las membranas, la clara o albúmen y la membrana vitelina.

La cutícula exterior de carácter proteico se deseca con rapidez tras la puesta y protege al huevo al obturar los poros de la cáscara, este efecto protector se va debilitando para desaparecer prácticamente a los dos o tres días. Al enfriarse el huevo después de la puesta se produce una contracción del contenido del huevo pero la

cutícula, en principio, impide la penetración de aire o gérmenes a través de los poros de la cáscara.

Las variaciones de temperatura actúan sobre el recambio gaseoso del huevo, aceleran la formación de la cámara de aire en el polo superior achatado y favorecen la penetración de las bacterias exteriores a través de la cáscara y membranas.

Las membranas testáceas están formadas por fibras proteicas de queratina entrecruzadas recubiertas de glicoproteínas. Las dos membranas están adheridas entre sí, formando una eficaz barrera protectora, pero al formarse la cámara de aire se separan y pierden efectividad mecánica, si bien conservan cierta actividad enzimática y bacteriolítica.

La clara líquida externa tiende a incrementar el pH de 7,4 en el momento de la puesta hasta 9,3 después de varios días de almacenaje. Este pH elevado se explica por la difusión de CO<sub>2</sub> desde el exterior incrementando los bicarbonatos y no favorece el crecimiento bacteriano, sin llegar a ser bactericida. La parte espesa de la clara frena la difusión de los microorganismos en virtud de la consistencia viscosa que le proporciona la ovomucina, pero, además, existen mecanismos químicos y biológicos de tipo enzimático y efecto bacteriolítico, como son la lisozima, transferrina, avidina y flavoproteína, principalmente.

El huevo tiene una estructura biológica que hace difícil su contaminación y la penetración de gérmenes desde el exterior no es fácil mientras conserve la película de mucina superficial que lo recubre, las membranas internas íntegras y las propiedades bacteriolíticas de la clara. Estas defensas se debilitan a partir de las 48 horas y la cáscara se hace permeable especialmente en condiciones de temperatura y humedad elevadas o cambios en la presión interna del huevo (Suárez Fernández, 2002).

### 4.2.3- Calidad del huevo

La definición de calidad de un huevo de gallina depende del punto de referencia. Es decir, los atributos clave de calidad pueden diferir para el criador, procesador de huevos y el consumidor. Para la industria del huevo, la calidad está determinada por la forma, el peso, la altura de la albúmina, el color de la yema y los atributos de la cáscara del huevo. Para algunas de estas medidas, se prescriben valores o rangos objetivos.

La forma y el grosor de la cáscara del huevo son dos ejemplos en los que formas y grosores específicos, se consideran ideales. Los huevos que son demasiado estrechos o demasiado redondos no encajarán correctamente en los envases prefabricados, y los huevos afinados no son tan resistentes al daño durante la manipulación como los huevos de forma normal (Anderson *et al.*, 2004; Altuntas y Sekeroglu, 2007, como se citó en Albrecht *et al.*, 2012). Además, las cáscaras de huevo que son demasiado finas pueden romperse fácilmente, mientras que las cáscaras de huevo que son demasiado gruesas, pueden causar dificultades con los rompedores automáticos. Para otros rasgos, como el color de la yema, las preferencias dependen del consumidor y varían ampliamente a nivel mundial (Galobart *et al.*, 2004).

La calidad del huevo comprende una serie de aspectos relacionados con la cáscara, la albúmina y la yema, y puede dividirse en calidad externa e interna.

Los rasgos de calidad del huevo están influenciados por la genética, la edad y el peso corporal de la gallina, la dieta y la temperatura (Silversides, 1994; Tharrington *et al.*, 1999; Silversides y Budgell, 2004; Van den Brand *et al.*, 2004 como se citó en Albrecht *et al.*, 2012).

## Calidad externa del huevo

### Peso

Según Hy Line (2018) cada variedad comercial tiene un rango para el tamaño del huevo determinado genéticamente, y dentro de este rango, el medio ambiente juega un papel muy importante en determinar el peso del huevo. La genética, el peso corporal, manejo, nutrición y programa de iluminación son los pilares del tamaño del huevo y son herramientas útiles para que los productores puedan cambiar el perfil del peso del huevo y así abastecer el mercado con un tamaño de huevo óptimo.

El peso del huevo es una característica heredable (40%) que responde bien a la selección genética. Sin embargo, aproximadamente el 60% de la variación del tamaño del huevo, es debida a factores no genéticos (nutrición, manejo, etc.) Estos factores no genéticos pueden ser controlados por los productores para alcanzar el perfil del tamaño del huevo deseado (Hy Line, 2018).

Un factor importante que afecta el peso del huevo es el peso corporal de la polla en la madurez. Debido al efecto directo del peso corporal sobre el peso del huevo, es muy importante que el lote alcance la meta del peso corporal con una buena uniformidad para el manejo del tamaño del huevo (Hy Line, 2018).

La nutrición durante el período de crianza y de postura tiene un papel muy importante sobre el peso del huevo. La energía, relación metionina/cistina, otros aminoácidos digestibles, ácido linoleico y la grasa total puede afectar directamente el tamaño del huevo. El contenido de proteína en la dieta debe ser balanceado para asegurarse que el ave utilice eficientemente los aminoácidos. Si la proteína no está bien balanceada puede resultar en una mala utilización de los aminoácidos y el tamaño del huevo no será el ideal (Hy Line, 2018). El tamaño de las partículas del alimento, el consumo de agua, la temperatura del agua y el horario de alimentación pueden afectar el consumo de alimento diario y consecuentemente el consumo de nutrientes.

El EC puede disminuir el peso del huevo. Las temperaturas ambientales superiores a la zona termo-neutral, afectan al ave causando que disminuya su consumo de alimento. El resultado puede ser un déficit en nutrientes como la proteína (aminoácidos) y energía, lo cual disminuirá el peso del huevo (Hy Line, 2018).

Por último, los programas de iluminación a los cuales las aves responden tienen un efecto importante en la producción y en el tamaño del huevo. Los programas de iluminación decreciente lenta, durante el período de crianza proporcionan a la polla con más horas de luz para comer y crecer. Al mismo tiempo, estos programas de iluminación decreciente lenta también pueden retrasar la madurez y aumentar el tamaño del huevo. Los programas de iluminación decreciente rápida, proporcionan menos horas de luz, con una madurez temprana y un tamaño del huevo más pequeño. La edad y el peso corporal de las aves en el momento de la fotoestimulación son factores que interactúan y que determinan el inicio de la producción de huevo, así como su tamaño. La fotoestimulación debe iniciarse cuando el peso corporal alcance un umbral dado por la referencia y el porcentaje de uniformidad del lote supere el 85%. Generalmente, la fotoestimulación temprana con bajos pesos corporales acelerará la madurez y disminuirá el tamaño del huevo, mientras que la estimulación de luz tardía con pesos corporales más pesados retrasará la madurez y aumentará el tamaño del huevo (Hy Line, 2018).

### Espesor de la cáscara

El espesor de la cáscara es una variable para medir calidad de huevo integralmente, ya que los huevos con cáscaras más delgadas están sujetos a una evaporación más intensa, hecho que induce una pérdida de peso más rápida. Una cáscara más resistente es aquella que puede absorber y tolerar mayor impacto y otras fuerzas físicas sin agrietarse. La integridad de la cáscara está relacionada con su

estructura y el patrón con el cual las sales de Ca se depositan (es decir, organización y tamaño del cristal) para formar sus diferentes capas (Hy Line, 2016).

El espesor de la cáscara está influenciado por diversos factores como: genética, salud, alimentación y la edad de la gallina (Aleu, 2018).

Entre los aspectos relacionados con la sanidad, las lesiones propias de los procesos patológicos y el estrés resultante de cualquier enfermedad, pueden originar una pérdida de calidad del huevo. Las principales enfermedades responsables de alteraciones en la cáscara son: Bronquitis infecciosa aviar, Micoplasmosis aviar, Síndrome de caída de postura y Laringotraqueítis (Soler Castillo y Bueso Ródenas, 2017).

Respecto a la alimentación, los desequilibrios, condicionan negativamente la formación de la cáscara. Reviste especial importancia la ingesta de Ca en la dieta, condicionada por la concentración y presentación de este metabolito. La gallina debe ingerir entre 3,6 y 4,2 g/día en condiciones normales, en forma de  $\text{CaCO}_3$ , entre el 50 y el 70% del Ca debe tener una granulometría de 2 a 4 mm de diámetro. Los niveles de P, Na, potasio (K) y cloro (Cl) deben ser ajustados para evitar la aparición de huevos con cáscaras delgadas y débiles (Navalon, 1995).

Numerosos estudios han demostrado que la calidad de la cáscara del huevo disminuye en la medida que las gallinas envejecen debido a causas de distinto origen. Esta merma en la calidad de la cáscara se debe, en parte, a que el peso de la cáscara permanece constante en el transcurso de la vida productiva del ave, en tanto que el tamaño del huevo se incrementa, lo que implica que el peso del huevo no es acompañado por un incremento proporcional en el peso de la cáscara. Por este motivo, la relación entre el peso de la cáscara y el peso del huevo, a menudo referida como porcentaje de cáscara, disminuye a lo largo del ciclo (Roberts y Ball, 2004). Ello va a provocar roturas, desde fisuras a roturas grandes. También se ve afectado el depósito de protoporfirinas, lo que da lugar a huevos decolorados (Mertens *et al.*, 2010).

Uno de los factores que influye marcadamente en el espesor de cáscara es el estrés, cualquiera que sea su origen, provoca una gran alteración de la fisiología del ave y afecta negativamente a la puesta (Ortíz y Mallo, 2013).

La respuesta al estrés está regulada por el sistema neurovegetativo o autónomo, que controla el funcionamiento de los distintos aparatos y sistemas orgánicos. En el aparato genital el sistema neurovegetativo no solo controla las ovulaciones y el tránsito del huevo, sino que regula los períodos o tiempos de espera exactos en cada parte del oviducto para finalmente realizar la oviposición. Estas funciones están reguladas por un sistema de músculos lisos que son gobernadas por el sistema nervioso autónomo (Pradenas, 2001).

Este sistema neurovegetativo es muy lábil e incontrolable y sus desórdenes afectan a la morfología del huevo y su calcificación, entre otros aspectos de relevancia biológica y productiva. Se pueden dar situaciones de tránsito rápido, que dificultan la calcificación, observándose huevos frágiles, proclives a la rotura (Soler Castillo y Bueso Ródenas, 2017).

Entre los diferentes tipos de estrés que pueden afectar la producción de huevo, y específicamente el espesor de cáscara, cabe destacar el estrés térmico el cual se desarrolla en este trabajo posteriormente en el capítulo “Estrés calórico y calidad del huevo”.

Una mala calidad de la cáscara de huevo supone además un riesgo importante para la inocuidad alimentaria del huevo, ya que los huevos con una cáscara dañada se contaminan más fácilmente con bacterias (Rodríguez Navarro, 2021).

## Calidad interna del huevo

### Unidades Haugh

La consistencia del albumen es, junto con la altura de la cámara de aire, uno de los indicadores de la frescura del huevo. La consistencia del albumen va decreciendo inexorablemente con el paso del tiempo tras la oviposición, debido al incremento del pH, que conlleva la degradación de la unión de las proteínas ovomucinas, y el consecuente aumento de la fluidez del albumen. La calidad del albumen también decrece sensiblemente con la edad de las aves, así como con la aparición de brotes de ciertas enfermedades como pueden ser la Bronquitis infecciosa o la enfermedad de Newcastle (Cavero Pintado, 2017).

La calidad del albumen se relaciona con su fluidez y se puede valorar a través de la altura de su densa capa. La Unidad Haugh (UH) es una medida que correlaciona esta altura en mm con el peso del huevo y se emplea como indicador de frescura. Es una medida de suma importancia para huevos que se almacenan por tiempo prolongado (Arango, 2013) debido a que el valor de las UH disminuye con el transcurso del tiempo, siendo este descenso más acusado cuando la temperatura del almacenamiento aumenta (Cavero Pintado, 2017).

Este método fue propuesto en 1937 por Raymond Haugh y representan una unidad de medida objetiva y precisa. Como podemos ver en la tabla N°1, valores de 50 UH representan una calidad del huevo inaceptable para el consumidor, a partir de 70 ya es aceptable y valores superiores a 90 representan una calidad del huevo excelente (Martín Gairal, 2019).

**Tabla N°1: Valores de Unidades Haugh**

Valores de Unidades Haugh	
>90	Excelente
80	Muy bueno
70	Aceptable
65	Marginal
60	Resistencia del consumidor
55	Pobre
50	Inaceptable

Fuente: Adaptado de Aleu *et al.* (2018)

### Índice de yema

El índice de yema (IY) es un parámetro que busca medir y puntuar la conformación de la yema junto con su estado de frescura y la relación que tiene con la calidad del huevo. Es de interés pues varía en forma directamente proporcional a la frescura del huevo. Conforme avanza el proceso de deterioro del huevo, la puntuación del IY disminuye, debido a que la estructura de la fibra de la membrana vitelina se afloja y la resistencia de la membrana disminuye con el tiempo (Mehner, 1969).

Después de la puesta existe un fuerte gradiente de presión osmótica del albumen hacia la yema, con lo que se establece un constante paso de agua en esa dirección. Cuando aumenta el pH del albumen durante el almacenaje de los huevos, las propiedades físicas de la capa externa de la membrana vitelina se modifican, aumenta

la permeabilidad y el intercambio de electrolitos, habiéndose comprobado un paso de Ca y Mg a la yema y un paso de hierro y aminoácidos libres hacia el albumen (Fuentes Pérez de los Cobos, 2002).

La pérdida de Mg por parte del albumen, agudiza la transformación de ovomucina gel a ovomucina soluble, con lo que el pH aumenta y provoca a su vez mayor permeabilidad de la membrana vitelina (Fuentes Pérez de los Cobos, 2002).

Estos fenómenos de difusión a través de la membrana vitelina dan lugar a:

- Un aplastamiento de la yema.

- Una mayor fragilidad de la membrana vitelina.

- Aparición de manchas en la superficie de la yema, llamado "Mottling" o "Moteado".

- Disminución de la viscosidad de la yema.

Después de la puesta, el IY es algo más alto para aves jóvenes que para aves viejas y no tiene ninguna relación con el peso del huevo (Fuentes Pérez de los Cobos, 2002).

### Color de yema

Aunque la percepción del consumidor sobre el color de la yema del huevo generalmente está vinculada a la ubicación geográfica, la cultura y las tradiciones, es cierto que los consumidores en la mayor parte del mundo prefieren yemas de tonos intensos (Beardsworth y Hernandez, 2004).

Es un factor fundamental en la apreciación de calidad organoléptica del huevo. Sin embargo existe multiplicidad de factores que influyen dicha apreciación. Así, el color

de la yema depende fundamentalmente de la nutrición (en función al contenido de pigmentos en la ración), de la genética (variación entre las razas para transportar los carotenoides desde el alimento a la yema), y los factores ambientales dependientes del tipo de alojamiento, en donde las ponedoras en jaula presentan un color menos intenso que las criadas a suelo (Aleu, 2018).

A fin de cuantificar estas diferencias existen métodos subjetivos y objetivos de evaluación de color. Dentro de los métodos subjetivos se encuentra un colorímetro conocido como “Escala de Roche”, un dispositivo que permite comparar el color de la muestra con un patrón de color o abanico. Esta escala otorga valores de coloración de 1 a 15, siendo el 1 el color que se acerca al blanco y 15 un anaranjado rojizo. Por otro lado, se sugiere como método objetivo la medición de color por método de espectrofotometría (Aleu, 2018).

Según Bovšková *et al.* (2014) para la práctica común en la industria y comercio avícola, la evaluación visual del color de la yema de huevo mediante la escala de Roche es más conveniente que la medición del contenido de carotenoides expresado como beta caroteno. La evaluación visual proporciona información inmediata e inequívoca y se corresponde mejor con la percepción sensorial del color de la yema del huevo.

El color de la yema es un aspecto muy importante que valora el consumidor, y de mucho valor en la industria alimenticia como ser pastas, panificados, etc. El color de la yema se debe principalmente a las xantofilas, entre otros pigmentos. En avicultura industrial es más común encontrar yemas con color más pálido, hecho que no significa que sean menos nutritivas (Martín Gairal, 2019).

El color de la yema en las gallinas ponedoras está determinado principalmente por el contenido y el perfil de carotenoides pigmentantes presentes en su alimento y puede adaptarse fácilmente a través de los ingredientes del alimento (Hernández *et al.*, 2005 como se citó en Bovšková *et al.*, 2014).

Los carotenoides son pigmentos amarillos, naranjas y rojos solubles en grasas. Se dividen en dos grupos principales: carotenos y xantofilas (Velíšek & Hajšlová 2009 como se citó en Bovšková *et al.*, 2014). Las xantofilas como la luteína y la zeaxantina tienen la mayor influencia en el color de la yema. El betacaroteno como representante de los carotenos está presente sólo en pequeñas cantidades (Simeonovová *et al.*, 2003 como se citó en Bovšková *et al.*, 2014).

### **4.3- EL USO DE ANTIBIÓTICOS COMO PROMOTORES DE CRECIMIENTO**

Desde la década del 40, varios antimicrobianos han contribuido a la prevención, restricción y cura de enfermedades en animales, también, en dosis bajas se han utilizado para poder mejorar la eficacia de la alimentación y promover el crecimiento (Ardoino *et al.*, 2017).

Hay 4 maneras en las que se pueden utilizar antibióticos en producción animal: Terapéutica: implica diagnosticar a un animal infectado y hacer pruebas a los animales en contacto para saber discernir a los enfermos de los sanos. Metafilaxis antimicrobiana: medicación de un grupo de animales de manera preventiva con el objetivo de reducir el número de posibles infecciones en un grupo o la severidad de la enfermedad. Profilaxis antimicrobiana: uso de agentes antimicrobianos en etapas críticas de la producción animal, sin la cual los animales quedarían expuestos a varias enfermedades. Promotores de crecimiento: dosis sub-terapéuticas de antibióticos en el alimento puede reducir el factor de CA en aves, cerdos y bovinos (Casana Rico, 2017).

Se ha propuesto que los APC reducen la incidencia y severidad de infecciones subclínicas, reducen el uso de nutrientes por parte de la flora intestinal no deseable, mejoran la absorción de nutrientes mediante el adelgazamiento de la pared intestinal y reducen la cantidad de metabolitos producidos por bacterias que ocasionan reducción del crecimiento (Huyghebaert *et al.*, 2011 como se citó en Ardoino *et al.*, 2017).

También se considera que la reducción de infecciones intestinales disminuiría la producción de citoquinas liberadas durante el proceso inmune, las cuales a su vez estimulan la liberación de hormonas catabólicas que reducen la masa muscular (Humphrey y Klasing 2003; Teirlynck *et al.*, 2009 como se citó en Ardoino *et al.*, 2017).

Además, por su efecto directo sobre las bacterias anaerobias, podrían interferir en la incidencia de enfermedades tales como la enteritis necrotizante (Errecalde, 2004).

En suma, el principal modo de acción de los antibióticos como promotores de crecimiento consiste en mantener un equilibrio óptimo de los microorganismos Gram positivos y Gram negativos de la microflora intestinal. Este equilibrio óptimo se obtiene con un 90% de Gram positivos, especialmente con una alta cantidad de *Lactobacillus*. Cuando hay alteraciones digestivas o episodios de estrés, aumentan los Gram negativos, como por ejemplo *Escherichia coli*. Estas bacterias proliferan, se adhieren a la mucosa y disminuyen la absorción de nutrientes, lo que ocasiona retraso en el crecimiento y la producción (Jones y Ricke 2003, como se citó en Ardoino *et al.*, 2017).

Si bien, los resultados desde el punto de vista productivo fueron altamente positivos, con el correr del tiempo esta práctica comenzó a ser cuestionada desde el punto de vista de la salud pública por sus implicancias en la generación de resistencia a los antimicrobianos usados en terapéutica (Ardoino *et al.*, 2017).

#### **4.3.1- La resistencia microbiana como consecuencia del uso de APC**

La resistencia a los antimicrobianos que afecta a la salud de consumidores humanos no está asociada mayormente a los residuos que pudieran quedar en carne o huevos, sino al desarrollo de resistencias bacterianas en los mismos animales, las cuales pueden dar lugar a fallos terapéuticos en tratamientos veterinarios. También existe el riesgo de transferencia de esas bacterias resistentes de los animales al hombre, o de genes portadores de la resistencia de bacterias animales a bacterias humanas (Errecalde, 2004).

Estos agentes farmacéuticos actúan como factor de selección al suprimir los microorganismos sensibles y permitir de esta manera la proliferación de cepas resistentes. La aparición de resistencia tanto en bacterias patógenas como en bacterias comensales, genera la posibilidad de ser transmitidas a través de la cadena alimentaria. Esto puede ocurrir por el consumo de alimentos, por contacto directo con animales de producción o con sus residuos en el medio ambiente. Estos eventos son más probables

en las producciones intensivas debido al contacto frecuente y estrecho entre los animales y el personal, lo que resulta en un mayor riesgo de transferencia de bacterias resistentes entre animales, humanos y medio ambiente (FAO, 2015).

En salud humana, el problema de la resistencia a los antimicrobianos se focaliza en pacientes inmunodeprimidos, niños y ancianos. Cuando un patógeno multirresistente ataca a un paciente con estas características, los antimicrobianos usados habitualmente no son efectivos y deben reemplazarse por otros más nuevos y de mayor costo. En algunos casos el reemplazo no es posible y puede ocasionarse la muerte del paciente (Errecalde, 2004).

En el año 1970 la entonces Comunidad Europea, expresa la preocupación del uso de los antibióticos como promotores de crecimiento en la alimentación animal. En 1995, Suecia prohíbe el uso de antibióticos como promotores de crecimiento en raciones para animales para preservar su uso en terapéutica. Siguiendo esta línea en el año 2003, el Parlamento Europeo declara que los antimicrobianos pertenecientes a categorías utilizadas o que pueden utilizarse en medicina humana o veterinaria y que implican un riesgo de selección de una resistencia cruzada con los medicamentos utilizados para tratar infecciones bacterianas, deben ir reduciendo su uso lo más rápidamente posible y, por último, suprimirse. La misma directiva fija como fecha de prohibición del uso de APC, el año 2005, además de determinar la prohibición de autorizar nuevos antibióticos con este fin (Ardoino *et al.*, 2017).

En nuestro país, desde Abril de 2024 rige la Resolución 445/2024 la cual resuelve en su artículo 1° lo siguiente: "Principios activos antimicrobianos. Prohibición. Se prohíbe en todo el territorio nacional el uso y/o la comercialización de productos veterinarios que contengan en su formulación principios activos antimicrobianos, solos o en combinación, con fines de promoción de crecimiento, mejorador del desempeño y/o de la eficiencia alimentaria de los animales" (SENASA, 2024). Esta regulación que prohíbe de manera explícita el uso de antibióticos como promotores de crecimiento, refuerza un marco legal que ya contemplaba las preocupaciones sobre la resistencia a

los antimicrobianos. Ejemplo de esto son, la Ley de prevención y control de la resistencia a los antimicrobianos N°27.680, que declara de interés público nacional la prevención y el control de la resistencia a los antimicrobianos. Que en cuanto a la salud animal y producción agroalimentaria, la precitada ley establece que deberá regularse y promoverse el uso racional y prudente de los antimicrobianos en salud animal y producción agroalimentaria a través de sus organismos competentes, eliminándose gradualmente el uso de antimicrobianos como promotor de crecimiento en animales para consumo humano (Boletín oficial de la República Argentina, 2022). La resolución conjunta N° 834 y N° 391 del 22 de junio de 2015 del ex Ministerio de Salud y del entonces Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca que aprueba la “Estrategia Argentina para el control de la resistencia antimicrobiana (Ministerio de Salud y Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2015). Como también la resolución N° 591 del 24 de Noviembre de 2015 del SENASA, que crea el Programa Nacional de vigilancia de la resistencia a los antimicrobianos en animales destinados al consumo humano. El programa pretende determinar y monitorear de forma sostenida en el tiempo, la prevalencia de resistencia a los diferentes antimicrobianos en bacterias comensales y zoonóticas, con el objetivo de evaluar posibles medidas que permitan retrasar o impedir la emergencia y diseminación de bacterias resistentes y, de esta manera, minimizar su riesgo en la salud pública y animal (SENASA, 2015).

#### **4.3.2- Alternativas para el reemplazo de los APC**

Entre las recomendaciones de la Conferencia del 39° período de Sesiones de la FAO se elabora un documento en el cual, además de encomendar el trabajo conjunto entre FAO, OMS y OIE para encontrar solución al problema de la resistencia a los antimicrobianos, se insta a “fomentar y respaldar la investigación y el desarrollo para hacer frente a la resistencia a los antimicrobianos y promover el uso responsable de los antimicrobianos en la agricultura” (FAO, 2015).

Ninguno de los compuestos propuestos hasta el momento para reemplazar a los antimicrobianos en su función de promotores de crecimiento, compensa totalmente las pérdidas ocasionadas por el retiro de los APC, usados individualmente (Ardoino *et al.*, 2017).

Las alternativas para el reemplazo de los APC en producción animal, pueden ser enfocadas bajo dos puntos de vista, por un lado mejorar las estrategias de manejo en el sistema de producción, de tal manera que se eviten las enfermedades y se logren mantener los parámetros productivos. Estas estrategias deben ir dirigidas a reducir la incidencia de enfermedades en animales, consiguiendo que no descendan los niveles productivos. Por otro lado, se propone la utilización de otras sustancias que posean efectos similares sobre los niveles productivos de los animales y que pertenezcan a la categoría de “aditivos”: probióticos, prebióticos, enzimas, AO y extractos de plantas (Ardoino *et al.*, 2017).

## **4.4- ÁCIDOS ORGÁNICOS**

### **4.4.1- Características**

Desde el punto de vista bioquímico los AO se caracterizan por la presencia de un grupo carboxilo en su configuración molecular, su solubilidad en agua y su carácter de ácido débil (Scapinello, 1998). De igual manera se conocen como ácidos carboxílicos por contener uno o más grupos carboxilos en su estructura molecular (Braz, 2007, como se citó en Matias, 2020).

Están presentes naturalmente en las plantas y tejidos animales o son obtenidos a partir de procesos fermentativos. Algunos AO como el ácido cítrico, acético y propiónico, son importantes en la alimentación humana y se utilizan como conservantes alimenticios, produciendo una rápida acidificación del medio (Danner, 2003, como se citó en Matias, 2020).

En la nutrición animal se utilizan ácidos débiles de cadena corta (de uno a siete carbonos). Pueden modificar la fisiología de las bacterias, lo que lleva a la ocurrencia de trastornos metabólicos que evitan la proliferación de estos microorganismos y causan su muerte (Matias, 2020).

Los AO se utilizan como conservantes de materias primas por sus propiedades antifúngicas y antibacterianas para reducir la contaminación, y también pueden promover el desarrollo de la microflora benéfica en el tracto digestivo (FEDNA, 2010).

#### 4.4.2- Mecanismo de acción de los AO

Existen diferentes mecanismos de acción de los AO, entre ellos:

- Disminución del pH y su capacidad amortiguadora, así como efectos antibacterianos y antifúngicos en el alimento.
- Reducción del valor de pH por liberación de iones de hidrógeno en el estómago, activando el pepsinógeno que se convierte en pepsina y mejorando la digestibilidad proteica, además, la acidificación del intestino estimula la actividad de enzimas y por lo tanto optimiza la digestión y la absorción de nutrientes incluyendo minerales.
- Modulación de la microbiota en el TGI (Kirchgessner y Roth, 1988, como se citó en Matias, 2020).

La eficiencia de un AO para inhibir el crecimiento de un microorganismo depende de su valor pKa, que describe el valor de pH en el cual el 50% del ácido está disociado (tabla N°2). El AO sólo tiene poder antimicrobiano si se encuentra en su forma no disociada, ya que en este estado puede atravesar la pared celular de las bacterias y hongos y modificar su metabolismo. Eso significa que la eficacia antimicrobiana del AO es mayor en condiciones ácidas (como en el estómago) y es reducida en pH neutro (como en el intestino). Por lo tanto, cuanto menor sea el valor pKa del AO, mayor será su efecto sobre la reducción del pH y menor será su efecto antimicrobiano en las porciones más distales durante su tránsito en el tracto digestivo. Un ácido fuerte (con pKa bajo) acidifica el alimento en el estómago, pero no tiene fuertes efectos directos sobre la microbiota intestinal (Kirchgessner y Roth, 1988, como se citó en Matias, 2020).

Tabla N°2: Principales ácidos orgánicos utilizados en producción animal

<b>Ácido</b>	<b>Nombre Químico</b>	<b>Formula</b>	<b>Tipo de Ácido</b>	<b>pKa</b>
Fórmico	Ácido Fórmico	HCOOH	Cadena Corta	3,75
Acético	Ácido Acético	CH <sub>3</sub> COOH	Cadena Corta	4,76
Propiónico	Ácido 2-Propanoico	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> COOH	Cadena Corta	4,88
Butírico	Ácido Butírico	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOH	Cadena Corta	4,82
Láctico	Ácido 2-Hidroxipropanoico	CH <sub>3</sub> CH(OH)COOH	Cadena Corta	3,83
Fumárico	Acido 2-butenodioico	COOHCH:CHCOOH	Ácido dicarboxílico	3,02
Málico	Ácido hidroxibutanodioico	COOHCH <sub>2</sub> CH(OH)COOH	Ácidos dicarboxílicos	3,40
Tartárico	Ácido 2,3-dihidroxi-butanodioico	COOHCH(OH)CH(OH)COOH	Ácido dicarboxílico	2,93
Cítrico	Ácido 2-hidroxi-1,2,3-propanotricarboxílico	COOHCH <sub>2</sub> C(OH)(COOH)CH <sub>2</sub> COOH	monocarboxílicos saturados de cadena lineal	3,13
Sorbico	Acido 2,4-hexadienoico	CH <sub>3</sub> CH:CHCH:CHCOOH	monocarboxílicos saturados de cadena lineal	4,76

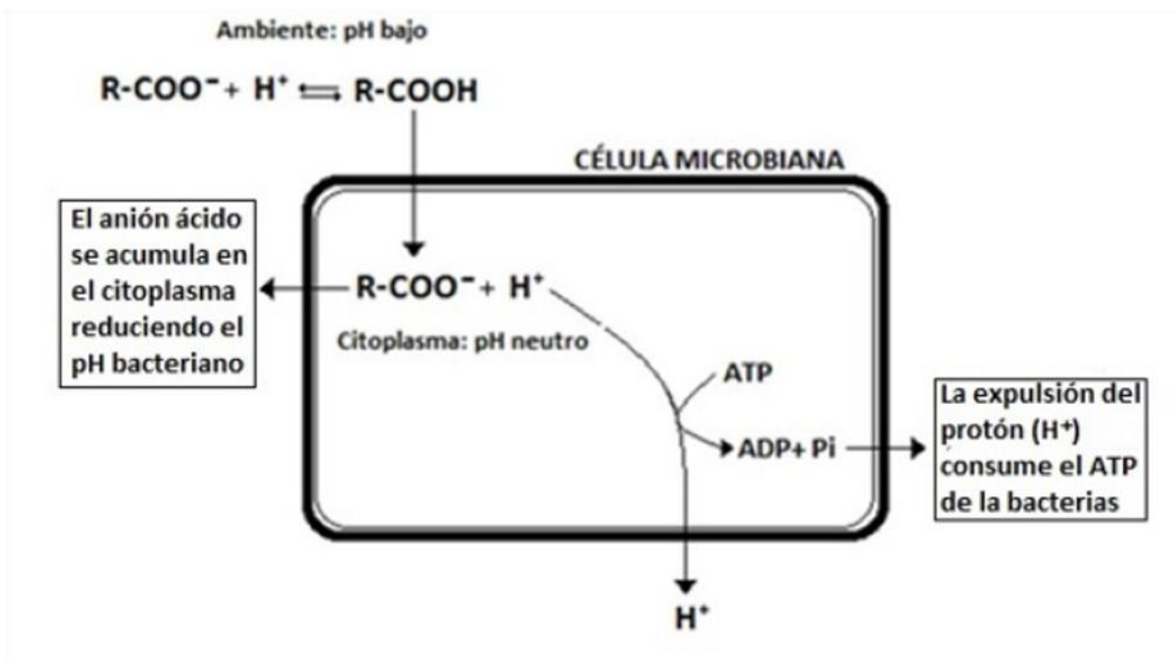
Fuente: Ángel-Isaza, (2019).

Como describen Lambert y Stratford (1999), después de penetrar a través de la pared celular de la bacteria, los AO no disociados quedan expuestos al pH interno de la misma y se disocian liberando protones (H<sup>+</sup>) y aniones (A<sup>-</sup>) (figura N°6). El pH interno disminuye y, debido a que las bacterias sensibles al pH no toleran una diferencia muy grande entre el pH interno y el externo, se activa un mecanismo específico (bomba de H<sup>+</sup> -ATPasa) para hacer que el pH dentro de la bacteria retorne a su nivel normal.

Este fenómeno consume energía y, eventualmente, puede detener el crecimiento de la bacteria o incluso matarla. La reducción del pH interno involucra otros mecanismos como la inhibición de la glucólisis, el impedimento del transporte activo y la interferencia con la transducción de señales.

La parte aniónica del ácido queda atrapada dentro de la bacteria, porque se difunde libremente a través de la pared celular sólo en su forma no disociada. La acumulación de aniones se torna tóxica para la bacteria mediante complejos mecanismos que implican un desbalance aniónico conducente a problemas osmóticos internos para el germen, además, el anión  $A^-$  es perjudicial para la cadena de ADN alterando la síntesis de proteínas y la replicación (Roe, 1998).

Figura N°6: Mecanismo de acción de los ácidos orgánicos



Fuente: Adaptado de Davidson y Taylor (2007).

Al contrario de lo que ocurre con los antibióticos, se considera que los AO comparten un mismo modo de acción a pesar de su variedad de estructuras químicas. Todos tienen mayor potencia antimicrobiana a medida que el pH se hace más ácido

(Lambert y Stratford, 1999) lo cual de hecho es incompatible con la fisiología del animal e incluso con la vida (Gauthier, 2005).

Estudios *in vitro* e *in vivo* han demostrado su actividad inhibitoria sobre bacteria Gram negativas y en menor medida Gram positivas, como también su actividad inhibitoria sobre hongos (Shiva Ramayoni, 2007). Al lograr reducir el pH, se crea un medio adecuado para que se desarrollen principalmente *Lactobacillus*.

#### **4.4.3- Usos de los AO en la industria de producción animal**

Los AO han sido utilizados por muchos años en la conservación de las materias primas y los alimentos. El potencial de los mismos en la conservación de los alimentos balanceados, radica en su capacidad de proteger a los piensos contra la proliferación de hongos y bacterias. El uso de los AO puede ejecutarse antes de los tratamientos térmicos y durante el proceso de empaque del alimento, dado que los AO proveen un control residual, es decir que durante el almacenamiento del alimento continúan controlando el crecimiento microbiológico (Koyuncu *et al.*, 2013).

Los AO se han utilizado durante mucho tiempo para contrarrestar las bacterias Gram negativas en la alimentación animal (Lückstädt, 2017).

#### **Ácido propiónico**

Es un ácido de cadena corta que es comúnmente utilizado para conservar alimentos. Es considerado uno de los mejores ácidos para prevenir los hongos y levaduras. Sin embargo, por su fuerte olor y su alta corrosividad, son sus sales las más utilizadas para la conservación de alimentos. Es importante tener en cuenta, como ya se mencionó, que a medida que el pH disminuye, su efectividad aumenta (Vanneste, 2017).

Por lo anterior, es utilizado como conservante tanto para alimentos para humanos como para animales. Es considerado un método económico y efectivo para el control de aflatoxinas de *Aspergillus flavus* (Moreno-Martínez *et al.*, 2000).

### Ácido fórmico

Es un ácido que actúa según el pH del medio, a menor pH, mejor actividad. Por ende, tiene un efecto sinérgico con el ácido propiónico. Es importante resaltar, que la reducción del pH en sí tiene un efecto bacteriostático (Vanneste, 2017). La actividad antimicrobiana del ácido fórmico se ha reportado contra bacterias como *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium* y *Campylobacter spp* (Thompson y Hinton, 1997; Beier *et al.*, 2018).

### Sales

Frecuentemente son utilizadas principalmente contra hongos y bacterias en salud animal. Sobre todo, utilizadas en productos finales y materias primas (Papatsiros *et al.*, 2012). En ocasiones, se utilizan en lugar del ácido, cuando el ácido tiene un olor fuerte y por ende puede reducir el consumo de los animales. Además, se utilizan por su efecto residual, mientras que los ácidos tienen un efecto de choque. Las sales, permiten tener el producto protegido en el tiempo.

La implementación de AO y sus sales contribuyen sustancialmente en la reducción de patógenos en animales, lo que conlleva a menos desórdenes digestivos y menos pérdidas económicas. Los AO por sí solos actúan inmediatamente entran en contacto con el microorganismo. Mientras que las sales, son moléculas que liberan ácidos una vez la concentración del ácido libre disminuye. Esto último permite tener un efecto residual y por ende una protección en el tiempo (Medina, 2021).

## 4.5- INTESTINO DELGADO. MUCOSA INTESTINAL

En el intestino delgado se lleva a cabo gran parte de la digestión y prácticamente toda la absorción de nutrientes. Siguiendo el sentido del desplazamiento fisiológico del contenido intestinal, en primer lugar se encuentra el duodeno, que empieza tras la molleja y termina en la salida de los conductos pancreáticos y biliares. Los contenidos ácidos de la molleja se mezclan con la bilis y los jugos pancreáticos a través de reflujos gastro-duodenales durante una corta retención en este punto. En consecuencia, el pH sube rápidamente por encima de 6 y comienza el proceso de digestión. El segmento adyacente que termina en el divertículo de Meckel se denomina yeyuno, que tiene un papel clave porque en él se digieren y absorben la mayor parte de los principales nutrientes. Su peso en vacío suele ser un 20-50% mayor que el íleon, lo que sugiere su importancia relativa. En contraste, el tiempo de retención es de 40-60 minutos, aproximadamente la mitad del tiempo de retención del íleon. Este menor tiempo, a pesar de una mayor capacidad, es una consecuencia lógica de que al yeyuno llega mayor cantidad de contenido intestinal en comparación con el íleon. Se ha demostrado que la absorción de los productos de la digestión de la grasa, del almidón y de la proteína se completa en gran medida al final del yeyuno. El íleon es el último segmento del intestino delgado y termina en la unión ileo-cecocolica. Su longitud es aproximadamente la misma que la del yeyuno, pero su peso es mucho menor. Se puede producir algo de digestión y absorción de grasas, proteínas y almidón, pero se estima que el íleon desempeña un papel fundamental como sitio para la absorción de agua y minerales. Debido a que la mayor parte de la materia seca del alimento ya ha sido absorbida, el paso a través del íleon es mucho más lento que a través del yeyuno (Catalá Gregori, 2019).

Las células de revestimiento epitelial descansan en estructuras mucosas intestinales especializadas que constituyen las vellosidades y las criptas. La vellosidad es una formación repetitiva que sobresale en la luz intestinal, la cripta, ubicada en las

base de las vellosidades, es una invaginación del epitelio. La vellosidad se considera una estructura especializada para aumentar el área de la superficie de absorción (Catalá Gregori, 2019).

El TGI del pollito recién nacido no es estéril, ya que, para ese momento, la microbiota se ha implantado a través de diferentes vías como son: la transmisión desde la madre en el oviducto y desde el medio ambiente a través de los poros en la cáscara de huevo (Roto *et al.*, 2016 como se citó en García 2022). La gallina puede inocular entre otros los géneros *Lactobacillus*, *Clostridium* y *Propionibacterium* antes de que se forme la cáscara del huevo, o bien, cuando los embriones consumen el líquido amniótico, incluso en condiciones comerciales (Abad-Guamán *et al.*, 2017).

La siguiente forma de inoculación de la microbiota intestinal (MI) sucede inmediatamente después de la eclosión, al ser expuestos a todos los microorganismos ambientales (incubadora, transporte, manejo y vacunación), donde puede haber algunos patógenos, para lo cual los anticuerpos maternos suministrados a través de la yema (IgY) pueden proteger al ave, además de ayudarle a activar su sistema inmune (Mahmood y Guo, 2020). Una vez dentro de la granja, el cambio en la MI es significativo debido a que el ave es expuesta a una dieta y un nuevo ambiente con una determinada carga bacteriana.

La composición inicial de la MI del pollito recién nacido está compuesta principalmente por *Lactobacillus*. A los 7 días aparecen, o comienzan a ganar predominancia, nuevos integrantes como *Lachnospiraceae* y *Enterococcus*. Para la segunda semana de vida, el intestino y los ciegos ya presentan grupos bacterianos diferentes, lo que indica un desarrollo y maduración del TGI, principalmente debido a que se han establecido las diferentes condiciones a lo largo del mismo, como son: pH, anaerobiosis (relación oxígeno, CO<sub>2</sub> e hidrógeno), presencia de surfactantes y metabolitos bacterianos como los ácidos grasos de cadena corta, por lo tanto, es aquí en donde comienza la diferenciación de la microbiota de forma espacial a través del sistema digestivo del ave (figura N° 7). Finalmente, durante la fase de producción, la

dieta podría considerarse el principal factor de recambio de la MI. A los 21 días se da la proliferación y dominancia de *Lactobacillus* a lo largo del intestino, y en la fase final, un aumento de los diferentes *Clostridium* en la parte distal del intestino y ciegos (Abad-Guamán *et al.*, 2017).

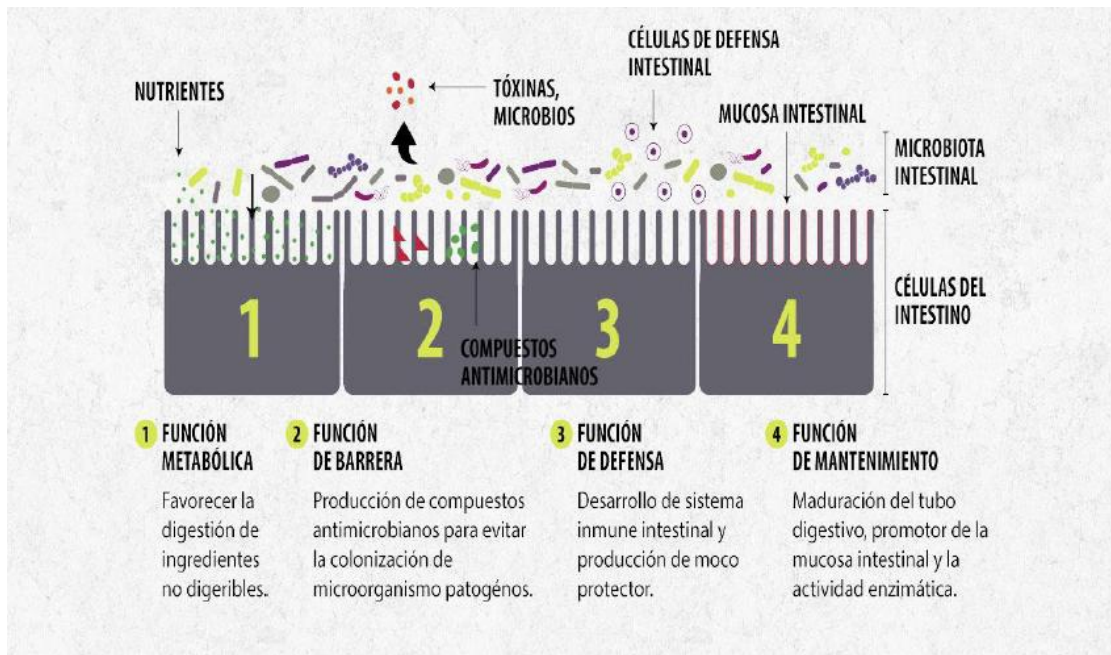
Dentro de las principales funciones de la MI se encuentran:

1) Protección, previene la invasión de agentes infecciosos o el sobrecrecimiento de especies residentes con potencial patógeno

2) Nutrición y metabolismo, como resultado de la actividad bioquímica de la microbiota

3) Funciones tróficas sobre la proliferación y diferenciación del epitelio intestinal, y sobre el desarrollo y modulación del sistema inmune (García, 2022).

Figura 7. Principales funciones de la mucosa intestinal



Fuente: García, 2022.

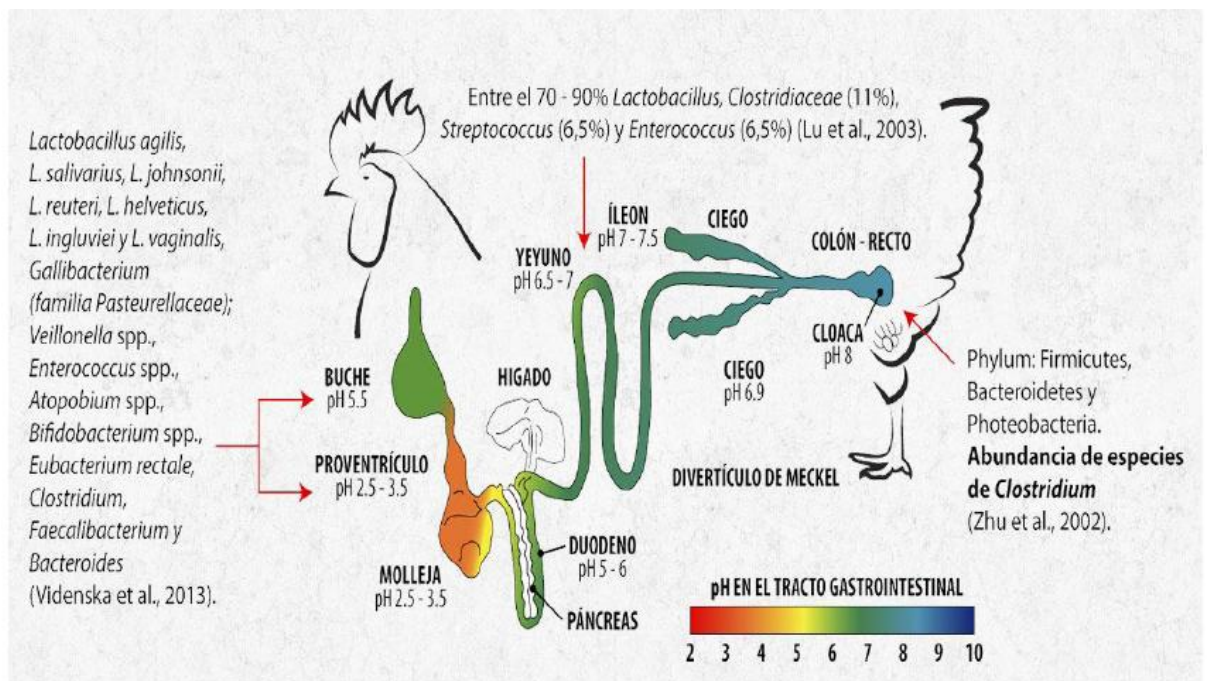
El desarrollo y la salud del TGI son elementos claves en la producción, factores como los estímulos inmunitarios, el medio ambiente, la nutrición, la calidad de los ingredientes de la ración, el equilibrio de la microflora, las secreciones endógenas, la motilidad y los aditivos, entre otros, influyen en el desempeño de la producción. Según Gauthier (2005), se puede considerar que las disfunciones digestivas constituyen los factores más limitantes para el rendimiento productivo.

La microbiota del TGI (figura N°8) es de gran importancia en la absorción y la disponibilidad de los nutrimentos y cualquier desbalance microbiano puede causar deficiencias en el rendimiento, toda vez que puede afectar adversamente la digestión y, principalmente, los patrones de absorción (Moran, 1996 como se citó en Gauthier, 2005)

Las bacterias intestinales patógenas pueden causar diarrea, infecciones, disfunción hepática, y reducción de la digestión y la absorción de los nutrientes.

Las bacterias benéficas pueden inhibir el crecimiento de las patógenas mediante diversos mecanismos, además de estimular al aparato inmunocompetente, sintetizar vitaminas, etc, (Macari, 2001).

Figura N°8: Microbiota del ave



Fuente: García, 2022.

## 4.6- ESTRÉS CALÓRICO

El EC se presenta por la interacción entre la humedad, la temperatura, la velocidad del aire y el calor del metabolismo del ave. La temperatura óptima para el rendimiento de las gallinas es de 18 a 22 °C (Charles, 2002).

Por su parte, el rango conocido como zona termoneutral es entre 18 °C y 25 °C, temperaturas por arriba o debajo de este margen, implican para las aves encender su mecanismo de termorregulación para compensar dichas variaciones (Diaz Arango, 2022).

Se considera que el estrés es una situación del organismo que afecta el mantenimiento de la homeostasis corporal o equilibrio fisiológico normal, que se da en respuesta no específica a cualquier estímulo negativo que genere un desbalance fisiológico. El EC, uno de los problemas más frecuentes en aves de corral y en la avicultura comercial, de gran impacto en la producción avícola industrial a nivel mundial debido a que induce pérdida de peso, disminución de la postura e incremento de los promedios de mortalidad, y es influenciado en el mayor parte de los casos por el medio ambiente. El mejoramiento genético de las aves en producción, ha resultado en líneas con bajas tasas de adaptación a ambientes cálidos y húmedos especialmente (Castaño Márquez, 2021).

Cuando las aves empiezan a jadear ya se han iniciado cambios fisiológicos en el cuerpo para disipar el exceso de calor, antes de que las aves lleguen a este punto, cualquier esfuerzo para ayudar a las aves a mantenerse cómodas, contribuirá a mantener el crecimiento, la incubabilidad, el tamaño del huevo, la calidad de la cáscara y la producción en un estado óptimo. El EC inicia cuando la temperatura ambiente sube de 26,7 °C y se potencializa por encima de 29,4 °C. La combinación del calor con la humedad puede ser mortal, esta sumatoria no debe sobrepasar de 106,7 cuando nos

expresamos en °C. Por ejemplo, cuando la temperatura es de 26,7 °C, y la humedad de 80% o sea,  $26,7+80= 106,7$  a partir de allí comienza el EC (Díaz Arango, 2022).

En los meses de verano se hace crítico que las aves disipen el calor corporal al medio ambiente para poder mantener la temperatura corporal normal, el mismo es disipado al ambiente a través de radiación, conducción, convección y evaporación (figura N°9).

Las tres primeras vías son conocidas como pérdida de calor sensible, estos métodos son efectivos cuando la temperatura ambiente está por debajo o dentro de la zona térmica neutral de las aves (18 a 25 °C). La proporción de calor perdida a través de radiación, conducción y convección depende de la diferencia de temperaturas entre el ave y el ambiente. Las aves pierden temperatura en superficies como patas y zonas desemplumadas bajo las alas (Díaz Arango, 2022).

El propósito de la ventilación en los galpones avícolas es el de mantener una velocidad del aire lo suficientemente alta o una temperatura en el galpón lo suficientemente baja, de manera que las aves puedan mantener la temperatura corporal por métodos de pérdida de calor sensibles.

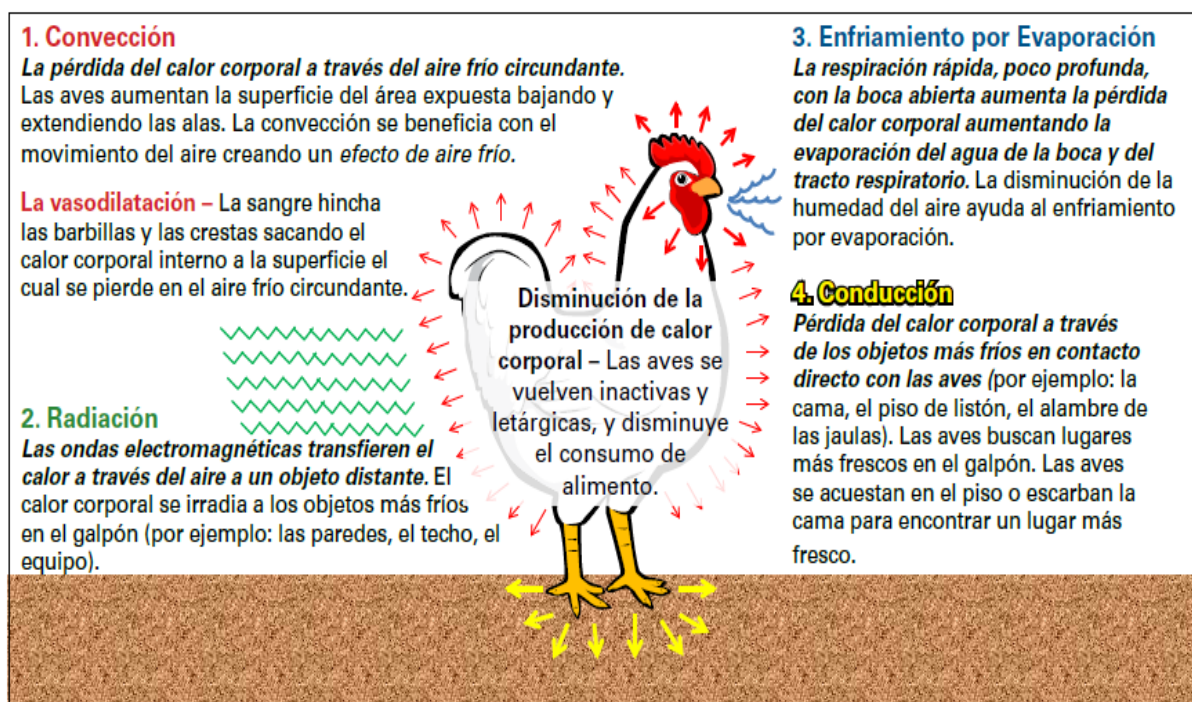
Las aves son animales homeotermos, por lo que deben regular constantemente su temperatura, son muy sensibles a golpes de calor debido a que no poseen glándulas sudoríparas, adicionalmente, están cubiertas con plumas, lo que les dificulta disipar el calor que se genera dentro de su cuerpo y el que viene de afuera.

Las ponedoras pueden sufrir más que otras aves, ya que la mayoría de las instalaciones en las granjas de hoy, son automáticas y generalmente son alojadas en jaulas. Las gallinas en las jaulas dependen totalmente del funcionamiento correcto de los equipos de ventilación para disipar el calor de su cuerpo (Díaz Arango, 2022).

Cuando las condiciones ambientales afectan la temperatura termoneutral de las aves, estas comienzan a usar el jadeo (refrigeración evaporativa) como mecanismo de

pérdida de calor, esto incrementa la circulación de aire por los sacos aéreos, lo que aumenta el intercambio gaseoso y consecuentemente la pérdida de calor; este mecanismo es muy común en el EC crónico, el que se ve reflejado en la merma de ingesta de comida, con la finalidad de disminuir la termogénesis y aumentar la termólisis, por lo tanto, hay poca ganancia de peso, mala calidad de la canal, además que en muchos casos se presenta EC agudo o golpes de calor, consecuentes a temperaturas superiores a 32 °C, produciendo la muerte en pollos de engorde (Castaño Márquez, 2021).

Figura N°9: Mecanismos de disipación del calor en el ave



Fuente: Hy Line, (2016).

Para el caso de las aves de postura, un incremento de temperatura, produce una disminución en el consumo de alimento, durante la recría, se afecta el peso corporal y reduce la acumulación de reservas corporales, afectándose a futuro la producción de huevos. En el ave adulta que sufre EC, además de disminuir el consumo de alimento para disminuir la temperatura interna, se movilizan reservas de grasa para obtener energía, afectándose la disponibilidad de nutrientes. En adición, las aves aumentan su consumo de agua, para descender la temperatura y compensar la pérdida de hidratación durante el jadeo. Este consumo de agua produce heces fecales más líquidas, aumentando las concentraciones de amoníaco en los galpones, lo que puede generar problemas de neumonías por el efecto corrosivo de estos gases en los pulmones y la disminución de la actividad inmune de las aves afectadas, además de otras patologías (Castaño Márquez, 2021).

#### **4.6.1- Estrés calórico y calidad del huevo**

A continuación, se detallan los efectos del EC sobre la calidad del huevo.

**Peso y tamaño:** el peso del huevo disminuye con el aumento de la temperatura ambiental a un promedio de 0,4g por cada °C de incremento a partir de los 25 °C, con humedad de 80%, generándose huevos de menor tamaño y peso, fruto de la incapacidad de termorregulación de las gallinas, junto a la pérdida de agua, CO<sub>2</sub> y aumento de la cámara de aire del huevo, con disminución irreversible de las UH (Vander Brand *et al.*, 2008).

**Cáscara:** los lotes que sufren EC a menudo ponen huevos con cáscaras débiles y delgadas debido al desbalance ácido/base en la sangre resultado del jadeo (hiperventilación). Cuando el ave jadea para perder calor corporal hay una pérdida excesiva de CO<sub>2</sub> de la sangre que eleva el pH, reduce la cantidad de iones de Ca y de carbonato que se transportan al útero para la formación de cáscara. Un aumento en la cantidad de Ca en el alimento no corrige este problema. La reducción del consumo de

alimento debido al EC también contribuye a que las cáscaras sean débiles (Hy Line, 2017).

Yema y Albúmina: la calidad de la yema está determinada por el color, la textura, firmeza y el olor, mientras que en la albúmina se relaciona con su consistencia, aspecto y las propiedades funcionales de la misma. Sin embargo, ambas dependen del consumo de alimento y los factores ambientales (Estrada *et al.*, 2010).

La disminución del consumo de alimento por EC, trae como consecuencia inmediata una menor ingesta de nutrientes, produciéndose un desequilibrio metabólico en el ave. Como resultado de este cambio, el albumen pierde parte de su consistencia y se facilita su posterior alteración, al mismo tiempo que la yema pierde coloración y, en casos extremos, su densidad (Franco-Jiménez y Beck, 2007).

Según reportes publicados sobre la temática, una exposición prolongada a una temperatura elevada (>25°C) en ponedoras comerciales, afecta significativamente la composición y calidad externa e interna del huevo, producto de desórdenes bioquímicos y metabólicos en el animal que implican la caída del consumo de alimento, oviposición precoz, pérdida de electrolitos y compuestos esenciales para la formación del huevo (Corona Lisboa, 2017).

#### **4.6.2- Estrés calórico y su relación con la mucosa intestinal**

Se ha señalado la importancia del desarrollo y de la salud del tracto gastrointestinal los que, sin dudarlo, son factores claves en la productividad de las aves (De Franceschi, 2018).

Cuando se compromete la salud intestinal se afecta la digestión y la absorción de nutrientes lo cual, a su vez, puede tener un efecto dañino en la conversión del alimento y esto deriva en pérdidas económicas y mayor susceptibilidad a las enfermedades.

Es importante mantener la integridad intestinal ya que la misma constituye una barrera muy importante para prevenir el paso de sustancias nocivas y patógenos, además de ser la vía de entrada de nutrientes agua e iones, por lo cual es importante mantener el epitelio intestinal con su morfología, para que todos los procesos fisiológicos se puedan llevar de una manera armónica (Vicuña, 2020).

Se ha demostrado que animales bajo condiciones de EC re-direccionan la sangre hacia la periferia corporal con el propósito de maximizar la disipación del calor. En consecuencia, la reducción en el flujo de sangre al epitelio compromete la integridad de la barrera intestinal (Liu *et al.*, 2016, como se citó en Olmix, 2020).

Una reducción en el tamaño de las vellosidades y de la profundidad de la cripta indica un daño al epitelio intestinal, lo cual contribuye a la permeabilidad (Liu *et al.*, 2016, como se citó en Olmix, 2020). Este daño no solo afectará a la reducción de las vellosidades sino a todas las células que se encuentran en ellas, como son las células caliciformes responsables de la producción de mucina, una de las principales barreras del intestino, generando una menor producción de mucus, disminuyendo la barrera de protección e incrementando el paso de patógenos a través del epitelio.

## 4.7- CONCEPTOS GENERALES DEL EQUILIBRIO ÁCIDO-BASE

La homeostasis ácido-base se refiere a la tendencia de un animal a mantener constante la concentración intracelular y extracelular de hidrogeniones ( $H^+$ ). La concentración de este  $H^+$  se expresa en términos de pH, en nanomoles por litro (nm/Lt.). Sin embargo, el balance ácido-base no solo se define por el pH del fluido extracelular, sino que también involucra la evaluación de la presión de  $CO_2$  ( $pCO_2$ ), la concentración del ión  $HCO_3^-$  y el exceso o deficiencia de bases (Carlson, 1997).

El pH sanguíneo de las aves y en general de un organismo se conserva en límites muy estrechos, por consiguiente, se necesita de un mecanismo regulador muy eficiente debido a que cualquier desviación pequeña alteraría dramáticamente el funcionamiento celular (Cogan, 1993).

Dentro de los disturbios ácido-base primarios, se distinguen:

1. Acidosis metabólica, proceso que causa acumulación de ácidos no volátiles, caracterizada por una disminución del pH, el  $HCO_3^-$ , y una disminución compensatoria de la  $pCO_2$ . Puede ser causada por diarreas, acidosis láctica, cetoacidosis, insuficiencia renal o consumo de sales y dietas acidogénicas.

2. Alcalosis metabólica, proceso que causa una acumulación de álcali (comúnmente  $HCO_3^-$ ), se caracteriza por un alto valor del pH y del  $HCO_3^-$ , incremento compensatorio de la  $pCO_2$ . Como causales se relacionan el vómito y el suministro de sales alcalinas en forma de  $HCO_3^-$ .

3. Acidosis respiratoria, es un proceso que causa un incremento primario de la  $pCO_2$  caracterizada por un bajo pH e incremento compensatorio de  $HCO_3^-$ . Es causado por una depresión del centro respiratorio, cambios patológicos en las vías respiratorias o alta producción de  $CO_2$  por hipertermia.

4. Alcalosis respiratoria, proceso que incrementa la eliminación de  $\text{CO}_2$ , caracterizado por baja  $\text{pCO}_2$ , alto pH y una disminución compensatoria de  $\text{HCO}_3^-$ . Es causada por EC, insuficiencia hepática, lesiones en el sistema nervioso central, hiperventilación, entre otras (Carlson, 1997).

Los electrolitos monovalentes como el Na, el K y el Cl, ejercen funciones muy específicas en el equilibrio ácido-base. Estos electrolitos acompañados de minerales en su forma iónica como el Ca, el Mg, el P y las proteínas plasmáticas desempeñan un papel importante en la síntesis de proteínas de los tejidos, en el mantenimiento de la homeostasis intra y extracelular, del potencial eléctrico de las membranas celulares, en la regulación de la presión osmótica, así como en el funcionamiento del sistema nervioso (Olanrewaju *et al.*, 2006).

#### **4.7.1- Balance ácido-base y su relación con el EC**

En condiciones normales, la formación de la cáscara induce una acidosis renal, asociada a la reabsorción total de  $\text{HCO}_3^-$  filtrado. Al mismo tiempo, la secreción de la cáscara induciría una acidosis metabólica ya que la formación de  $\text{CaCO}_3$  insoluble, involucra la liberación de iones  $\text{H}^+$ . Estas condiciones ácidas son contrarrestadas por el sistema tampón de  $\text{HCO}_3^-$  del fluido uterino.

En condiciones de EC, el aumento de la tasa respiratoria, como medida para liberar por evaporación calor, reduce la  $\text{pCO}_2$  sanguínea y la concentración de  $\text{H}^+$  produciendo un estado de alcalosis respiratoria. Ante la alcalosis respiratoria, se da una respuesta renal y sucede un aumento de la excreción de  $\text{HCO}_3^-$ . Si se tiene en cuenta que el  $\text{HCO}_3^-$  es la materia prima para la síntesis de cáscara en la mucosa uterina, el resultado del EC sería una reducción de la síntesis de cáscara, afectando su calidad. (Betancourt y Romero, 2002).

La respuesta del ave al EC tiene como objetivos disminuir la termogénesis y aumentar la termólisis, para ajustarse a esto, las aves sufren cambios de tipo fisiológico. Vasodilatación periférica, mayor flujo de sangre hacia los músculos abdominales involucrados en la respiración, reducción de la absorción intestinal de nutrientes y de la velocidad de tránsito (por menor aporte sanguíneo a hígado, riñones e intestinos). Asimismo, aumenta la frecuencia respiratoria (jadeo) ante la necesidad de refrigeración evaporativa, aumenta la frecuencia cardíaca, aumenta la viscosidad sanguínea, y disminuye la concentración sanguínea de  $\text{CO}_2$  que limita la obtención de ion  $\text{HCO}_3^-$ , lo cual interfiere con la calcificación del huevo y con la deposición de Ca en hueso (Gogny, 2005 como se citó en Acebal *et al.*, 2018).

La gallina ponedora pierde una gran cantidad de iones  $\text{HCO}_3^-$  a partir del riñón en un intento de equilibrar la alcalosis respiratoria,  $\text{HCO}_3^-$  que debería ir a formar parte de la cáscara como cristales de  $\text{CaCO}_3$ . Este trastorno dificulta el proceso de deposición de calcio sobre la superficie del huevo (Filardi *et al.*, 2012)

En la avicultura actual, con aves de alta producción, tanto de carne como de postura, los trastornos del metabolismo de los minerales a menudo conllevan una disminución de la calidad de la cáscara y la aparición de osteoporosis en las ponedoras y debilidad de los huesos en los broilers. Este hecho tiene efectos negativos tanto sobre la rentabilidad económica de la producción, como también sobre el bienestar de las aves (Swiatkiewicz y Arczewska-Wlosek, 2012).

## **4.8- ELECTROLITOS Y SU IMPORTANCIA EN LA FISIOLÓGÍA DEL AVE**

Los minerales se clasifican esencialmente en: macrominerales y microminerales u oligoelementos. Los macrominerales se pueden clasificar en función de su uso en el cuerpo. El Ca y el P actúan principalmente en la estructura esquelética del cuerpo, mientras que el Na, K y Cl, junto con fosfatos y bicarbonatos, funcionan para mantener la homeostasis en el cuerpo (equilibrio ácido/base y presiones osmóticas adecuadas). Los oligoelementos tienen su función principal como partes de hormonas, enzimas o como activadores de estas.

### **4.8.1- Calcio**

El Ca es el mineral predominante en el cuerpo (aproximadamente el 1,5% del peso corporal) como principal constituyente del sistema esquelético. El Ca también se encuentra en los fluidos corporales, donde juega un papel esencial en la coagulación de la sangre y la permeabilidad de las membranas, y mantiene la excitabilidad normal del corazón, músculos y nervios. Varios sistemas enzimáticos son también activados por este mineral (Brue, 1994).

El calcio ionizado (Cai) es la forma fisiológicamente activa. Las bajas concentraciones de Cai resultan en una disminución de la resistencia eléctrica y un aumento en la permeabilidad de la membrana (al Na y K) del tejido nervioso, lo que provoca hiperexcitabilidad del tejido neural y muscular y puede provocar la descarga espontánea de fibras (Brue, 1994).

La absorción de Ca se produce predominantemente en la parte superior del intestino delgado, mediante un sistema de transporte activo que involucra una proteína fijadora de Ca. Este proceso está regulado por el metabolito activo de la vitamina D<sub>3</sub> en

respuesta a niveles bajos de Ca en plasma. Una cantidad menor de absorción también ocurre en el intestino delgado inferior por difusión pasiva. Dietas ricas en proteínas y la acidificación de los intestinos ayuda a la absorción del Ca. Una vez absorbido, el Ca es transportado por el plasma como  $\text{Ca}^{2+}$ , Ca unido a proteínas y una pequeña cantidad quelado (con citrato y fosfato). La regulación del metabolismo involucra a la hormona paratiroidea, calcitonina y vitamina  $\text{D}_3$ . El contenido de Ca del hueso seco es aproximadamente un tercio del peso total, predominantemente presentes en forma de Fosfato de Ca, con menores cantidades de  $\text{CaCO}_3$ . En cáscaras de huevo, el  $\text{CaCO}_3$  es el compuesto estructural (Brue, 1994).

Para el mantenimiento del tejido óseo adecuado, la proporción de Ca a P disponible debe ser de aproximadamente 2 a 1. Se puede tolerar un rango de 0,5:1 a 2,5:1. Cuanto más se desvíe esta proporción del nivel ideal, los niveles apropiados de vitamina  $\text{D}_3$  se vuelven más críticos. La vitamina  $\text{D}_3$  es esencial para regular la absorción y el metabolismo del Ca y el P, especialmente cuando los niveles dietéticos están desequilibrados (Brue, 1994).

En las gallinas durante la reproducción se observan dos fenómenos fisiológicos independientes relacionados con el metabolismo del Ca, estos cambios normales no deben malinterpretarse como patológico:

- Hipercalcemia inducida por estrógenos: alrededor de cuatro días antes del comienzo de la postura, la concentración de Ca en sangre se eleva unas tres veces su valor normal. Este aumento es causado por un aumento en el Ca unido a proteínas, secundario al transporte inducido por estrógenos de proteínas de la yema al ovario en forma de complejos de Ca. La concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  permanece constante.

- Osificación fisiológica de la médula: durante la puesta de huevos, hay un gran aumento en las cantidades de Ca y P que se retienen de la dieta y se deposita en el hueso medular. El hueso medular puede llenar por completo la cavidad medular de los huesos largos, en particular los de las extremidades. Este período de deposición ósea

coincide con un aumento de la actividad osteoblástica. Cuando la gallina comienza a secretar la cáscara del huevo, el hueso medular es reabsorbido por la actividad osteoclástica (Lumeij, 1994).

#### **4.8.2- Metabolismo del Ca en la formación de la cáscara**

Se necesitan altos niveles de Ca circulante para la formación de la cáscara. El estrógeno aumenta el Ca plasmático total al aumentar la producción de proteínas que se unen al Ca en la sangre. Sin embargo, el aumento de los niveles en sangre por sí solo es insuficiente para la formación de la cáscara porque las gallinas pueden agotar todo el Ca de la sangre durante el tiempo que el huevo está en el útero. Se necesita una mayor absorción intestinal y una mayor movilización ósea para reponer constantemente el Ca en sangre.

Para ponedoras, se necesitan niveles altos en la dieta (hasta 4,5%) para obtener el máximo producción de huevos. En las aves domésticas, la mayor parte del Ca de la cáscara del huevo se obtiene del intestino, y el Ca óseo se usa solo cuando los niveles en sangre son bajos.

El Ca del hueso medular sirve como fuente para la formación de la cáscara en gallinas que ponen huevos durante las horas de la mañana, cuando disminuye la ingesta de alimentos y consecuentemente, la absorción intestinal de Ca. Si no se consume suficiente Ca, se movilizará el hueso cortical (Lumeij, 1994).

El Ca y el P son considerados los principales minerales en las dietas de ponedoras y reproductoras, debido a su expresiva participación en el metabolismo y calidad de la cáscara del huevo, la función metabólica y estructural de estos minerales en la formación de huesos y cáscara del huevo, son esenciales en la producción avícola (Araujo *et al.*, 2005 como se citó en Badejo *et al.*, 2019).

### 4.8.3- Fósforo

Además de ser un componente óseo importante, el P también es un componente de proteínas, carbohidratos y complejos lipídicos que realizan funciones vitales en el cuerpo. El P tiene una gama más amplia de funciones biológicas que probablemente cualquier otro elemento. El P está ampliamente distribuido en la naturaleza y se presenta mayormente como iones fosfatos. La absorción tiene lugar principalmente en el duodeno, siendo la eficiencia de absorción dependiente del requerimiento metabólico y se ve afectado por una serie de factores como su fuente, la relación Ca: P, el pH intestinal y los niveles dietéticos de vitamina D, K, Mg, manganeso, hierro y grasa. Una vez absorbido, se incorpora fácilmente al hueso y otros tejidos, actuando el hueso como reservorio metabólico. Al igual que el Ca, los niveles circulantes son regulados por la hormona paratiroidea y la calcitonina, siendo los niveles plasmáticos inversamente relacionados con los niveles de Ca en plasma. La excreción de cantidades excesivas de P tiene lugar principalmente a través de los riñones (Brue, 1994).

En las fuentes vegetales, el P a menudo forma complejos con fitina, por lo que no está disponible para todos los animales monogástricos, debido a que carecen de la enzima fitasa. Cuando la dieta consiste predominantemente en alimentos ricos en fitina, los microorganismos productores de fitasa, pueden colonizar el tracto gastrointestinal y proporcionar una modesta mejora en la disponibilidad de P. Como regla general, el P de productos animales está casi completamente disponible, mientras que el de la planta generalmente se considera aproximadamente 30% disponible. Estos valores típicos se pueden utilizar para generar una estimación del P disponible en la dieta. Cuando se mantiene dentro del rango de proporciones aceptables de Ca:P, el P moderadamente alto no crea un problema significativo. Cantidades de P fuera de estas proporciones aceptables, sin embargo, causará una disminución del rendimiento e interferirá con la absorción de Ca en el tracto gastrointestinal (Brue, 1994).

#### **4.8.4- Magnesio**

La mayor parte del Mg del cuerpo está presente en los huesos, formando complejos con Ca y P. En los fluidos corporales, la mayor parte del Mg se encuentra en las células sanguíneas. El Mg (como el K) se encuentra en las concentraciones más altas en las células de los tejidos blandos como el hígado, el músculo estriado, riñón y cerebro. En estos tejidos, sirve como activador de muchas de las enzimas implicadas en la transferencia y el metabolismo del fosfato. El Mg se absorbe de manera similar al Ca y el P, y la eficiencia de la absorción depende de la concentración en el tracto gastrointestinal. Con niveles bajos, la absorción tiende a ser más eficiente. La mayor parte de este mineral es absorbido en el intestino delgado. Los niveles de Ca y el P en una dieta afectan el requerimiento de Mg, con altos niveles de cualquiera de los primeros tendiendo a aumentar el requerimiento de este último (Brue 1994).

El Mg es un elemento importante en la matriz esquelética y juega un papel importante en la estimulación nerviosa y la contracción muscular. Es un catalizador en aproximadamente 400 enzimas / sistemas diferentes, implicados en el metabolismo de proteínas, lípidos y carbohidratos. El Mg es necesario para la secreción de insulina y es un co-factor en la producción de glutatión peroxidasa, un antioxidante importante en el sistema inmunológico del cuerpo (Pierson, 2017).

En las aves de postura, el Mg aporta dureza a la cáscara del huevo (Hy Line, 2017).

#### **4.8.5- Potasio**

El K se distribuye ampliamente en la mayoría de los alimentos, lo que hace que las deficiencias sean poco probables en animales adultos. El K se halla principalmente intracelular, encontrándose los niveles más altos en el músculo, eritrocitos, cerebro e hígado. El K es el catión intracelular primario, que afecta el equilibrio ácido-base y la

presión osmótica. También está involucrado en biosíntesis de proteínas, captación celular de aminoácidos y como co-factor en varios sistemas enzimáticos. En los fluidos extracelulares, el K reduce la contractibilidad del músculo e induce la relajación, por lo que tiene el efecto contrario al Ca. Se absorbe predominantemente en la parte superior del intestino delgado por difusión pasiva, absorbiéndose en menor medida a lo largo de todo el tracto intestinal. El exceso de K se excreta a través de los riñones bajo la influencia del Na y niveles de aldosterona. El estrés severo puede crear hipopotasemia debido a un aumento en la excreción renal causada por proteínas plasmáticas elevadas. Esta hipopotasemia puede extenderse durante la adaptación al estrés a medida que las reservas de K se reponen en el músculo y el hígado. El requerimiento mínimo de K está influenciado por los niveles dietéticos de sodio, cloruros totales, el contenido de energía del alimento y posiblemente el contenido de proteína. La toxicidad del K no es probable, debido a la capacidad del riñón intacto para excretar grandes concentraciones del mineral. Excesos de tres veces la cantidad requerida no han presentado problemas en especies de aves (Brue, 1994).

#### **4.8.6- Sodio**

El Na es el catión primario del fluido extracelular y es predominantemente responsable de la regulación del equilibrio ácido-base del cuerpo al asociarse con cloruro o  $\text{HCO}_3^-$ . El Na es fundamental en el mantenimiento de la presión osmótica adecuada en el cuerpo, protegiendo contra las pérdidas de fluidos en exceso. También interviene en la transmisión de impulsos nerviosos, la permeabilidad de las células y actúa inhibiendo los sistemas enzimáticos mitocondriales que de otro modo son activados por los iones intercelulares, K o Mg. Las sales de Na se absorben fácil y eficientemente en el íleon, y se puede conservar de manera eficiente cuando el suministro dietético es limitado. El exceso de Na, por otro lado, puede ser eficientemente excretado a través de los riñones por un aumento en el consumo de

agua. La retención de Na está regulada por la hormona suprarrenal, la aldosterona, que mantiene niveles adecuados en plasma y regula su excreción (Brue, 1994).

Dependiendo de la especie, el hueso contendrá entre 25 y 50% del Na corporal total, que se une a la matriz inorgánica del hueso. El resto se encuentra predominantemente en el líquido extracelular del cuerpo, con concentraciones más altas en plasma, tejido nervioso y tejido muscular. El cuerpo tiene un mecanismo específico para concentrar Na en el líquido extracelular, mientras se concentra K en el líquido intracelular. Este gradiente de alta concentración es mantenido por el sistema de bomba de NA-K/ATPasa. Este sistema transporta Na fuera de la célula, mientras transporta K hacia adentro. Este es un proceso que requiere energía y utiliza ATP intracelular como fuente de energía. En presencia de enfermedad renal crónica, especialmente cuando el animal está en acidosis, los niveles de Na son agotados debido a la mala reabsorción tubular y el uso para la amortiguación de ácidos. Tanto la enfermedad renal como la diarrea pueden causar depleción de Na. Esto a menudo será seguido por una rápida pérdida de peso debido a la deshidratación (Brue, 1994).

Los aumentos moderados del Na en la dieta, son relativamente no tóxicos si se proporciona agua adecuada (baja en sodio) prevista para la excreción renal. Niveles de cinco a diez veces por encima del requerimiento fisiológico se pueden proporcionar antes de que haya una disminución en el crecimiento y pérdida de apetito en un ave joven. Habrá un considerable aumento en la ingesta de agua que resulta en excrementos más sueltos. A niveles más altos de ingesta de Na dan como resultado un desmejoramiento del plumaje, polidipsia, poliuria, nerviosismo, edema, deshidratación y mortalidad (Brue, 1994).

#### **4.8.7- Cloro**

El Cl, metabólicamente activo como ion cloruro, está estrechamente relacionado con el Na en los alimentos, en el cuerpo y en procesos metabólicos, y ambos serán

excretados en las mismas condiciones. El Cl también es esencial en el mantenimiento del equilibrio ácido-base del cuerpo, la presión osmótica y el balance de agua, es un componente del ácido clorhídrico que es producido por el cuerpo como secreción gástrica primaria. En el cuerpo, el Cl es concentrado en el líquido cefalorraquídeo y la sangre. Es fundamental evaluar los niveles dietéticos generales de Na, Cl y K juntos. En la dieta debe haber un equilibrio del Na total y de K con el total de Cl y sulfato para mantener el equilibrio ácido-base adecuado en la sangre. La toxicidad del Cl solo rara vez es un problema, pero exceso de Cl en la dieta (junto con cationes desequilibrados) puede dar lugar a anomalías del cartílago en pollitos, la corrección del equilibrio ácido-base alivia este síntoma (Brue, 1994).

## **5- OBJETIVOS**

## OBJETIVOS

---

### OBJETIVO GENERAL

Evaluar la utilidad de los ácidos orgánicos como herramienta para potenciar el desarrollo de la flora gastrointestinal a partir de la disminución del pH y promover mejoras en la absorción de nutrientes con la consiguiente optimización de la producción de huevos.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Evaluar el efecto de la incorporación de acidificantes en la dieta de gallinas ponedoras sobre parámetros zootécnicos y características externas e internas del huevo.

Analizar el efecto de la incorporación de acidificantes en la dieta de gallinas ponedoras sobre la longitud de las vellosidades yeyunales.

Evaluar el efecto de la incorporación de acidificantes en la dieta de gallinas ponedoras como potencial reductor del estrés calórico.

## **6- MATERIALES Y MÉTODOS**

## MATERIALES Y MÉTODOS

---

Debido a la extensión del período de vida útil productivo de las gallinas ponedoras y las fluctuaciones estacionales, el estudio se desarrolló durante un año, iniciándose la experiencia en abril del año 2018.

Se trabajó con 500 gallinas de la línea Lohmann Brown (Lohmann, 2017) a partir de las 24 semanas de vida, y hasta las 80 semanas de vida.

Las mismas se alojaron en un galpón de 4 x 16 metros (foto N°1) perteneciente a la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Nacional de Rosario (FCV-UNR), situado en la localidad de Casilda, provincia de Santa Fe. El mismo presentó dos líneas de jaulas con 3 hileras cada una, se alojaron 2 aves por jaula.

Se asignó, aleatoriamente, el tratamiento con 250 de las 500 gallinas disponibles en cada línea, constituyéndose de esta manera el “Grupo Tratado” (GT) y el “Grupo Control” (GC).

Ambos grupos con idénticas condiciones sanitarias, de manejo y alimentación, excepto por el agregado de un blend de acidificantes a razón 2.000 g por tonelada, en la dieta de las aves del GT. Las aves del GC tuvieron una dieta sin aditivos.

El alimento balanceado que se les proveyó a las aves, se formuló en la planta de alimentos balanceados de la FCV-UNR, y su composición por tonelada fue la siguiente:

- 554 kg de maíz
- 330 kg pellet de soja
- 10 kg de premix
- 16 kg de fosfato bicálcico

- 90 kg de conchilla.

El aditivo utilizado fue SALGARD POLVO<sup>®</sup>, con la siguiente fórmula:

- Formiato de amonio 20 g

- Ácido fórmico 10 g

- Propionato de amonio 10 g

- Ácido propiónico 5 g

Foto N°1: Interior del galpón



Fuente: de la autora (2018).

## VARIABLES EVALUADAS

### 6.1- CARACTERÍSTICAS ZOOTÉCNICAS

Mensualmente se analizaron los registros diarios, recolectados en el galpón, para calcular las siguientes variables:

**Porcentaje de Postura (% / ave / día)**, calculándose con la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de postura} = \frac{\text{n}^{\circ} \text{ de huevos producidos en el período}}{\text{Total de gallinas/día}} \times 100$$

**Conversión alimenticia**, (C. A) por docena de huevos y/o por Kg de huevo, calculándose:

$$\text{C. A por docena de huevo} = \frac{\text{consumo de ave-día} \times \text{ave-día}}{\text{docenas de huevos producidos}}$$

$$\text{C.A por Kg de huevo} = \frac{\text{consumo de ave-día} \times \text{ave-día}}{\text{n}^{\circ} \text{ huevos} \times \text{peso huevos}}$$

**Masa de huevo (g):**

$$\text{Masa} = \frac{\text{postura (\%)} \times \text{peso huevo (g)}}{100}$$

100

**Mortalidad (%):** se obtiene con la siguiente ecuación:

$$\text{Mortalidad} = \frac{\text{total aves muertas}}{\text{total aves ingresadas}} \times 100$$

total aves ingresadas

Para el análisis estadístico se agruparon los datos mensuales según la estación: otoño (abril, mayo, junio) invierno (julio, agosto, septiembre) primavera (octubre, noviembre, diciembre) y verano (enero, febrero, marzo). Se compararon los promedios y variancias estacionales de ambos grupos, mediante el T test de Student y F de Snedecor respectivamente.

## 6.2- CARACTERÍSTICAS EXTERNAS E INTERNAS DEL HUEVO

Se extrajo mensualmente una muestra aleatoria de 30 huevos de cada grupo y se efectuaron las mediciones de las siguientes variables:

- **Calidad externa**

### **Peso del huevo (g)**

Se pesaron los huevos individualmente de las muestras tomadas aleatoriamente de cada grupo, para ello se utilizó una balanza digital de precisión ( $200 \pm 0,01$  g) como se puede observar en la foto N°2.

Foto N°2: Pesaje de huevos



Fuente: Sabina Advínculo (2018).

### **Espesor de la cáscara (mm)**

Una vez roto el huevo y vaciado su contenido, se midió el espesor de la cáscara en mm, a la altura del ecuador del huevo, en tres puntos diferentes, para ello se usó un micrómetro mecánico Digimess, luego se hizo un promedio entre los tres valores. En la foto N°3 puede apreciarse como se realizó la técnica.

Foto N°3: Espesor de cáscara



Fuente: de la autora (2018).

- **Calidad interna**

### **Índice de yema (%)**

Medido en porcentaje, es el cociente de la división de la altura de la yema en mm (HY) por la semisuma de los dos diámetros de la misma en mm (DY), en presencia de la albúmina (índice de Funk).

Luego del pesaje, se procedió al cascado individual de los huevos, volcando su contenido sobre un vidrio de 30 x 30 cm, se tomó la medida de los diámetros y altura de la yema por el método de Funk, con un calibre digital Mahr.

Se calculó mediante la siguiente fórmula:  $IY: \frac{HY}{DY} \times 100$

### **Índice de albúmina (%)**

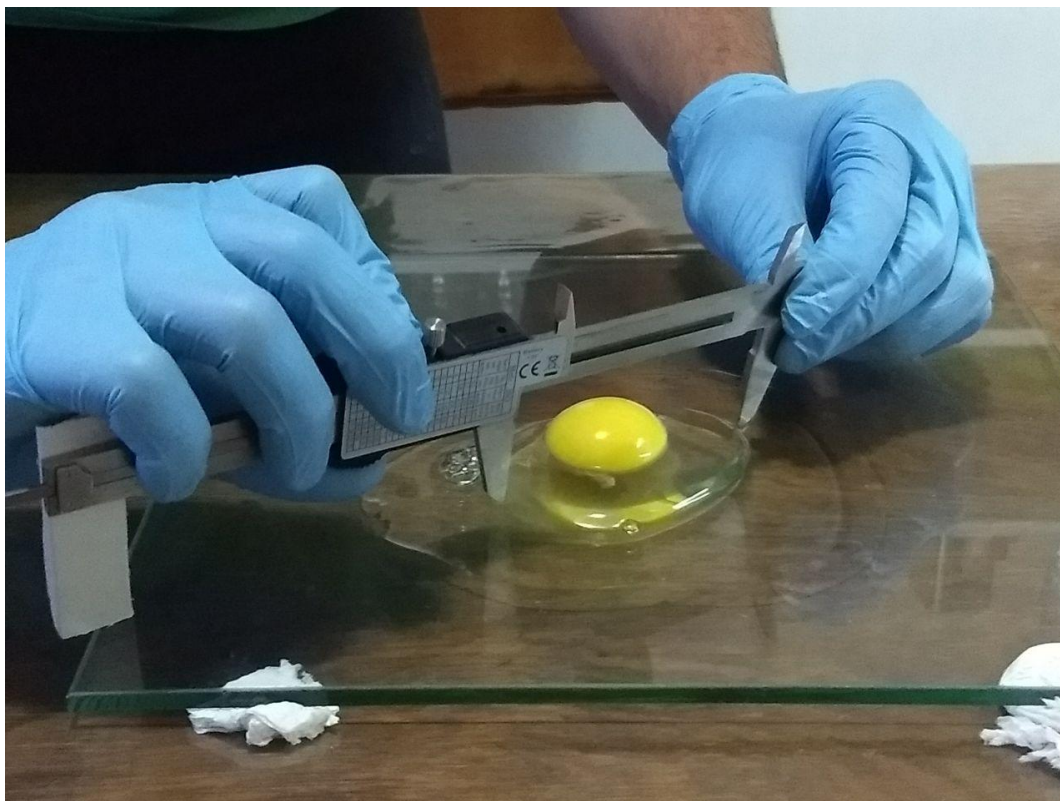
Medido en porcentaje, calculado como la relación entre altura del albumen en mm (AA) y la semisuma entre la longitud del albumen en mm (LA) y el ancho de la misma en mm (aa).

Para obtener esta variable, se midió con calibre, la altura, el largo y ancho de la albúmina (foto N°4).

Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$IA: \frac{AA}{LA + aa/2} \times 100$$

Foto N° 4: Largo de albúmina medido con calibre



Fuente: de la autora, (2018).

### Unidades Haugh

Las UH relacionan la altura de la clara densa y el peso del huevo en la siguiente fórmula:

$$UH = 100 \times \log (AA - (P ^ 0,37) + 7,57)$$

“AA” representa la altura de la clara densa

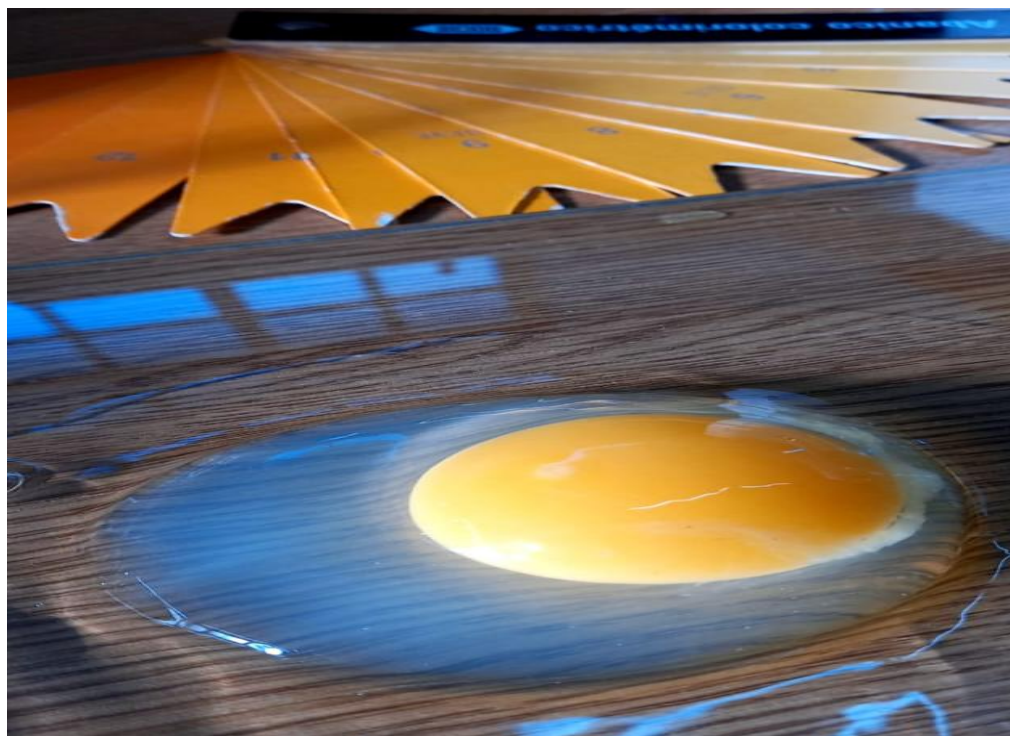
“P” el peso del huevo en gramos.

Para la medición de esta variable, una vez pesado el huevo se lo rompió, se lo colocó sobre una superficie plana, en este caso un vidrio y se midió la altura de albúmina en su parte más alta (el límite entre la yema y la albúmina) con un calibre digital Digimess.

### **Color de yema**

Para evaluar el color de las yemas se usó un patrón denominado abanico de Roche, como se puede observar en la foto N°5.

Foto N°5: Abanico de Roche



Fuente: Sabina Advínculo (2018)

Se agruparon los datos mensuales según la estación: otoño (abril, mayo, junio) invierno (julio, agosto, septiembre) primavera (octubre, noviembre, diciembre) y verano (enero, febrero, marzo). El análisis estadístico aplicado, en el caso de las variables cuantitativas continuas: peso, espesor de cáscara, IY, IA y UH consistió en la comparación estacional de los promedios, y de las variancias de ambos grupos mediante el test T de Student (t test) y F de Snedecor respectivamente.

Para el análisis de la variable color de yema (cualitativa ordinal) se aplicó el test U de Mann-Whitney o Prueba de suma de rangos de Wilcoxon.

### **6.3- VELLOSIDADES INTESTINALES**

Con el objetivo de evaluar la longitud en micras ( $\mu\text{m}$ ) de la mucosa intestinal a nivel del yeyuno, se tomó una muestra aleatoria de 20 gallinas.

Previo al descarte de las aves (80 semanas de vida) se tomaron 10 gallinas de cada grupo experimental. En la sala de necropsias de la FCV-UNR se procedió a su sacrificio según el Protocolo de INTA (2018).

De cada una de las 20 aves, se extrajeron tres muestras de yeyuno: 1 de la zona proximal, 1 de la zona media y 1 de la zona distal, dichas muestras fueron remitidas en formol al 10% tamponado con fosfato disódico anhidro y fosfato monosódico monohidratado a pH 7,4, al laboratorio de Histología de la FCV-UNR.

Se obtuvieron cortes transversales de las distintas porciones de yeyuno, de 2  $\mu\text{m}$  de espesor y se tiñeron con hematoxilina-eosina. Para la lectura de los preparados se utilizó un microscopio binocular LEICA DM750 y para la obtención de las fotografías la cámara LEICA EC3.

De las imágenes obtenidas se procedió a medir la longitud de la mucosa intestinal en micras, utilizando el programa de procesamiento de imagen digital de dominio público ImageJ, desarrollado en el National Institutes of Health, USA.

El análisis estadístico de los datos de la variable respuesta “longitud de la mucosa yeyunal en  $\mu\text{m}$ ” consistió en la comparación de los promedios, y de las variancias de ambos grupos mediante el test T de Student (t test) y F de Snedecor respectivamente.

## 6.4- ANÁLISIS SÉRICOS

Para evaluar el efecto de la incorporación de acidificantes en la dieta de gallinas ponedoras como potencial reductor del estrés calórico, se obtuvieron mensualmente muestras de sangre (2 ml) de 10 aves de cada lote.

Las aves fueron tomadas al azar y de manera cuidadosa se procedió a hacer la extracción de la vena braquial del ala. Para dicha maniobra se utilizaron jeringas de 3 cm y agujas 25/8 estériles. Una vez obtenida la sangre en la jeringa, la muestra se transfirió a un tubo plástico de 3 ml. Luego fueron remitidas al laboratorio de análisis clínicos de la FCV-UNR y se analizaron con el Metrolab (Wiener) los niveles séricos de:

Calcio total (Cat)

Magnesio (Mg)

Sodio (Na)

Potasio (K)

Cloro (Cl)

Calcio ionizado (Cai)

Se agruparon los datos mensuales según la estación: otoño (abril, mayo y junio) invierno (julio, agosto y septiembre) primavera (octubre, noviembre y diciembre) y verano (enero, febrero y marzo) y se aplicó un análisis factorial con dos factores: estación (con cuatro niveles) y grupo de pertenencia (con dos niveles) que permite, eventualmente, detectar interacciones entre ambos factores.

Foto N°6: Extracción de sangre



Fuente: Sabina Advínculo (2018).

## **7- RESULTADOS**

## RESULTADOS

### 7.1- PARÁMETROS ZOOTÉCNICOS

A continuación, se presentan los resultados de porcentaje de postura, CA por docena y por kg de huevo, masa de huevo y mortalidad, de ambos grupos en el período tratado.

#### Porcentaje de postura (%)

El porcentaje de postura analizada por estación, registró diferencia significativa solo en primavera, a favor del GT. Para el resto de las estaciones no hubo diferencia significativa, como se observa en la tabla N°3.

**Tabla N°3: Porcentaje de postura. Medidas descriptivas y estimación por intervalo del 95%, según grupo de pertenencia y estación del año. Unidad de medida %**

Estación del año	GT			GC		
	Promedio	Desvío	Intervalo	Promedio	Desvío	Intervalo
Otoño	97,17	11,18	94,85; 99,50	97,01	11,55	94,60; 99,41
Invierno	97,37	6,00	96,12; 98,61	96,93	6,49	95,59; 98,28
Primavera	96,38	5,62	94,94; 97,82	86,31	5,84	84,81; 87,81
Verano	89,05	20,77	84,75; 93,35	89,24	19,84	85,13; 93,35

## Conversión alimenticia

La misma fue calculada por docena de huevos y por kg de huevo.

La CA por docena de huevo analizada por estación, mostró diferencia significativa solo en primavera a favor del GT. Para el resto de las estaciones no hubo diferencia significativa como se puede observar en la tabla N°4.

**Tabla N°4: Conversión alimenticia por docena de huevo. Medidas descriptivas y estimación por intervalo del 95%, según grupo de pertenencia y estación del año**

Estación del año	GT			GC		
	Promedio	Desvío	Intervalo	Promedio	Desvío	Intervalo
Otoño	1,39	0,21	1,35; 1,44	1,38	0,19	1,34; 1,42
Invierno	1,39	0,09	1,37; 1,41	1,40	0,10	1,37; 1,42
Primavera	1,48	0,10	1,45; 1,51	1,66	0,16	1,62; 1,70
Verano	1,69	0,34	1,62; 1,76	1,74	0,31	1,68; 1,81

La CA por kg de huevo analizada por estación, arrojó como resultado que hay diferencia significativa solo en primavera a favor del GT. Para el resto de las estaciones no hubo diferencia significativa, como se observa en la tabla N°5

**Tabla N°5: Conversión alimenticia por kg de huevo. Medidas descriptivas y estimación por intervalo del 95%, según grupo de pertenencia y estación del año**

Estación del año	GT			GC		
	Promedio	Desvío	Intervalo	Promedio	Desvío	Intervalo
<b>Otoño</b>	1,83	0,28	1,77; 1,89	1,81	0,25	1,76; 1,87
<b>Invierno</b>	1,81	0,12	1,78; 1,83	1,82	0,14	1,79; 1,85
<b>Primavera</b>	1,97	0,14	1,93; 2,00	2,19	0,20	2,14; 2,24
<b>Verano</b>	2,16	0,45	2,07; 2,25	2,28	0,44	2,19; 2,37

### **Masa de Huevo (g)**

La masa de huevo analizada por estación, arrojó diferencia significativa solo en primavera a favor del GT. Para el resto de las estaciones no hubo diferencia significativa, como se puede observar en la tabla N°6.

**Tabla N°6: Masa de huevo. Medidas descriptivas y estimación por intervalo del 95%, según grupo de pertenencia y estación del año. Unidad de medida g**

Estación del año	GT			GC		
	Promedio	Desvío	Intervalo	Promedio	Desvío	Intervalo
Otoño	63,36	5,48	62,21; 64,51	61,65	7,33	60,12; 63,17
Invierno	62,31	3,83	61,51; 63,10	62,10	4,18	61,24; 62,96
Primavera	60,48	3,57	59,56; 61,39	54,64	3,66	53,71; 55,58
Verano	58,16	13,38	55,39; 60,93	57,07	13,23	54,33; 59,81

### **Mortalidad (%)**

Respecto a esta variable, tanto en el GT como en el GC, fue de 5% en todo el período.

## 7.2- CARACTERÍSTICAS EXTERNAS E INTERNAS DEL HUEVO

A continuación, se presentan los resultados de calidad externa (peso del huevo, espesor de cáscara) y calidad interna (IY, IA, UH y color de yema).

- **Calidad externa**

### **Peso del huevo (g)**

Analizando los datos por estación, se observó diferencia significativa en primavera y verano, como se puede ver en la tabla N°7.

**Tabla N°7: Peso. Medidas descriptivas y estimación por intervalo del 95%, según grupo de pertenencia y estación del año. Unidad de medida g**

Estación del año	GT			GC		
	Promedio	Desvío	Intervalo	Promedio	Desvío	Intervalo
Otoño	65,21	5,64	64,02; 66,39	64,20	4,99	63,16; 65,25
Invierno	63,13	4,67	62,15; 64,11	63,21	4,25	62,32; 64,10
Primavera	64,43	4,37	62, 80; 66,06	62,11	4,01	60,61; 63,61
Verano	67,21	6,37	65,83; 69,59	64,37	3,89	62,92; 65,82

### **Espesor de cáscara (mm)**

Considerando los datos de espesor de cáscara por estación, el test de comparación de medias de muestras independientes (t test), permite inferir que el espesor promedio de la cáscara de los huevos del GT es significativamente distinto al del GC en otoño, invierno y verano, como puede observarse en la tabla N°8.

**Tabla N°8: Espesor de cáscara. Medidas descriptivas y estimación por intervalo de 95% según estación y grupo de pertenencia. Unidad de medida mm**

Estación del año	GT			GC		
	Promedio	Desvío	Intervalo	Promedio	Desvío	Intervalo
<b>Otoño</b>	0,452	0,029	0,445; 0,458	0,442	0,026	0,436; 0,447
<b>Invierno</b>	0,460	0,024	0,455; 0,465	0,444	0,033	0,437; 0,451
<b>Primavera</b>	0,449	0,041	0,441; 0,458	0,439	0,046	0,429; 0,449
<b>Verano</b>	0,443	0,043	0,434; 0,452	0,432	0,034	0,424; 0,430

- **Calidad interna**

### Índice de Yema (%)

El test de comparación de medias de muestras independientes, arrojó diferencia significativa a favor del GC, en invierno, como se puede observar en la tabla N°9. En el resto de las estaciones no se observó diferencia significativa entre los grupos.

**Tabla N°9: Índice de Yema. Medidas descriptivas y estimación por intervalo del 95% según grupo de pertenencia y estación del año**

Estación del año	GT			GC		
	Promedio	Desvío	Intervalo	Promedio	Desvío	Intervalo
Otoño	47,29	2,74	46,72; 47,87	47,73	3,08	47,08; 48,38
Invierno	46,98	2,34	46,50; 47,47	48,62	2,62	48,07; 49,17
Primavera	46,10	3,43	45,38; 46,82	47,03	4,03	46,19; 47,88
Verano	48,23	2,97	47,61; 48,85	47,94	3,31	47,25; 48,63

## Índice de Albúmina (%)

El test de comparación de medias de muestras independientes, no registró diferencia significativa en ninguna de las estaciones, como se puede observar en la tabla N°10.

**Tabla N°10: Índice de Albúmina. Medidas descriptivas y estimación por intervalo del 95%, según grupo de pertenencia y estación del año**

Estación del año	GT			GC		
	Promedio	Desvío	Intervalo	Promedio	Desvío	Intervalo
Otoño	8,97	1,89	8,58; 9,37	8,67	1,74	8,30; 9,03
Invierno	9,59	1,46	9,28; 9,89	9,82	1,56	9,49; 10,14
Primavera	8,52	1,96	8,11; 8,93	8,84	1,75	8,47; 9,21
Verano	8,93	2,29	8,45; 9,41	8,79	2,11	8,36; 9,24

## Unidades Haugh

Para esta variable, no se observó diferencia significativa entre los promedios del GT y del GC en las estaciones del año, como se puede observar en la tabla N°11. En el verano, con respecto a las variancias de los grupos, el test F de Snedecor, permite inferir que la variancia del GC es significativamente mayor a la del GT ( $p < 0,05$ ). El coeficiente de variación del GT es bajo (5,6%) mientras que en el GC es moderado (11,20%).

**Tabla N°11: Unidades Haugh. Medidas descriptivas y estimación por intervalo del 95 %, según estación y grupo de pertenencia**

Estación del año	GT			GC		
	Promedio	Desvío	Intervalo	Promedio	Desvío	Intervalo
Otoño	99,73	5,78	98,52; 100,95	98,55	5,18	97,46; 99,63
Invierno	101,75	3,71	100,97; 102,73	102,08	4,19	101,20; 102,96
Primavera	98,92	5,54	97,75; 100,09	99,25	5,03	98,10; 100,30
Verano	99,53	5,59	98,35; 100	100,43	11,25	98,04; 102,34

## **Color de Yema**

El test de Mann-Whitney mostró que no hay evidencia para afirmar que el color de la yema del GT y del GC difieran significativamente ( $p=0,7413$ ). En ambos casos el valor correspondiente al colorímetro de Roche, estuvo en el 80% de los datos entre 6 y 8.

### 7.3- MEDICIÓN DE LAS VELLOSIDADES INTESTINALES

El análisis estadístico mostró diferencia significativa entre los promedios muestrales, a favor del GT ( $p < 0,005$ ).

A un resultado análogo se llegó, comparando las medianas de los grupos mediante la prueba W de Mann-Whitney ( $p = 0,0016$ ).

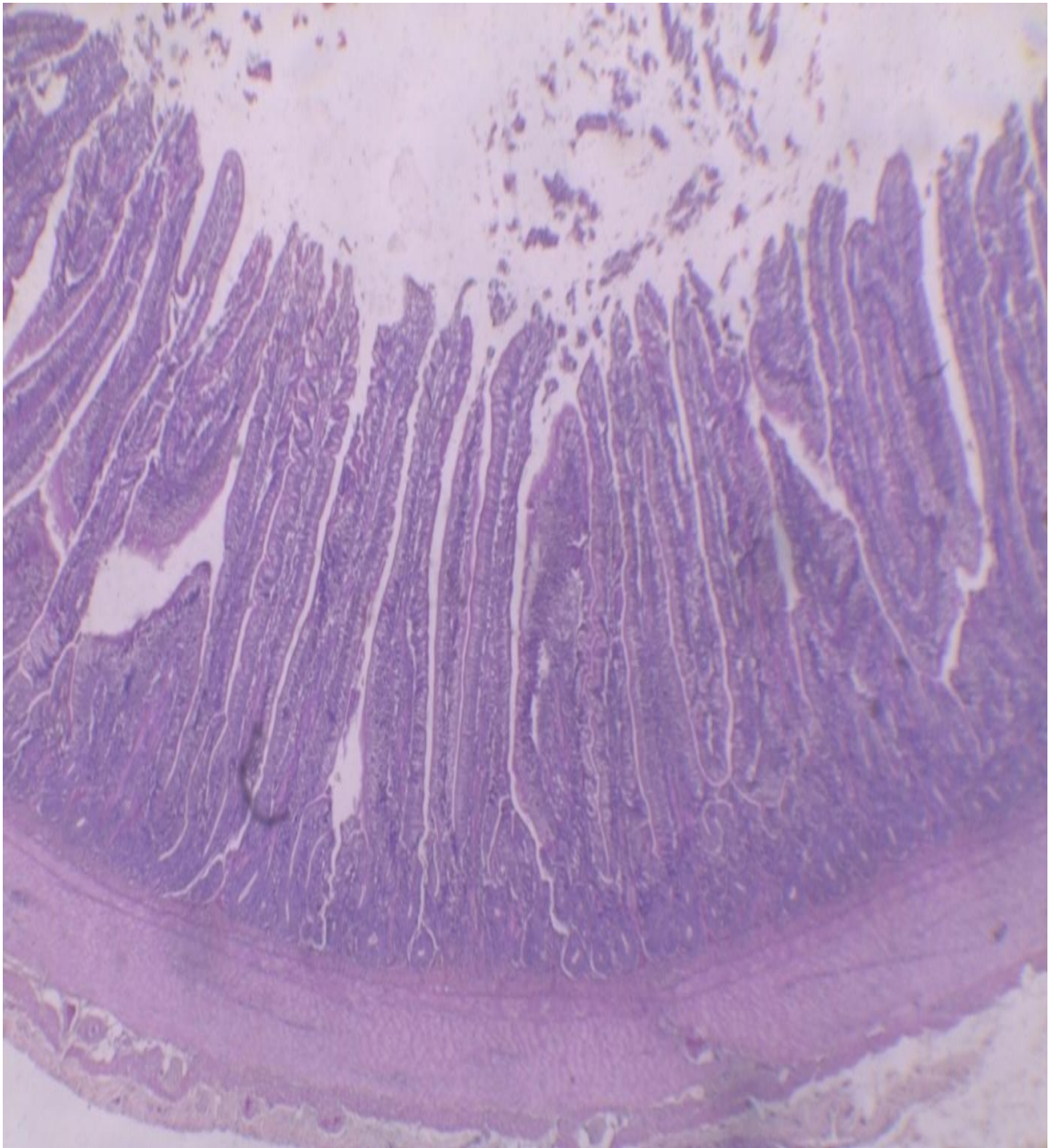
Como se observa en la tabla N°12, las estimaciones obtenidas mediante intervalos de confianza de 95% fueron:

**Tabla N°12: Estimación, intervalo y desvío de la longitud de la mucosa yeyunal en  $\mu\text{m}$**

GRUPO	ESTIMACION	INTERVALO	DESVÍO
GT	15987,3	14008,9 ; 17965,7	1978,41
GC	12608,9	11227,9 ; 13989,8	1380,98

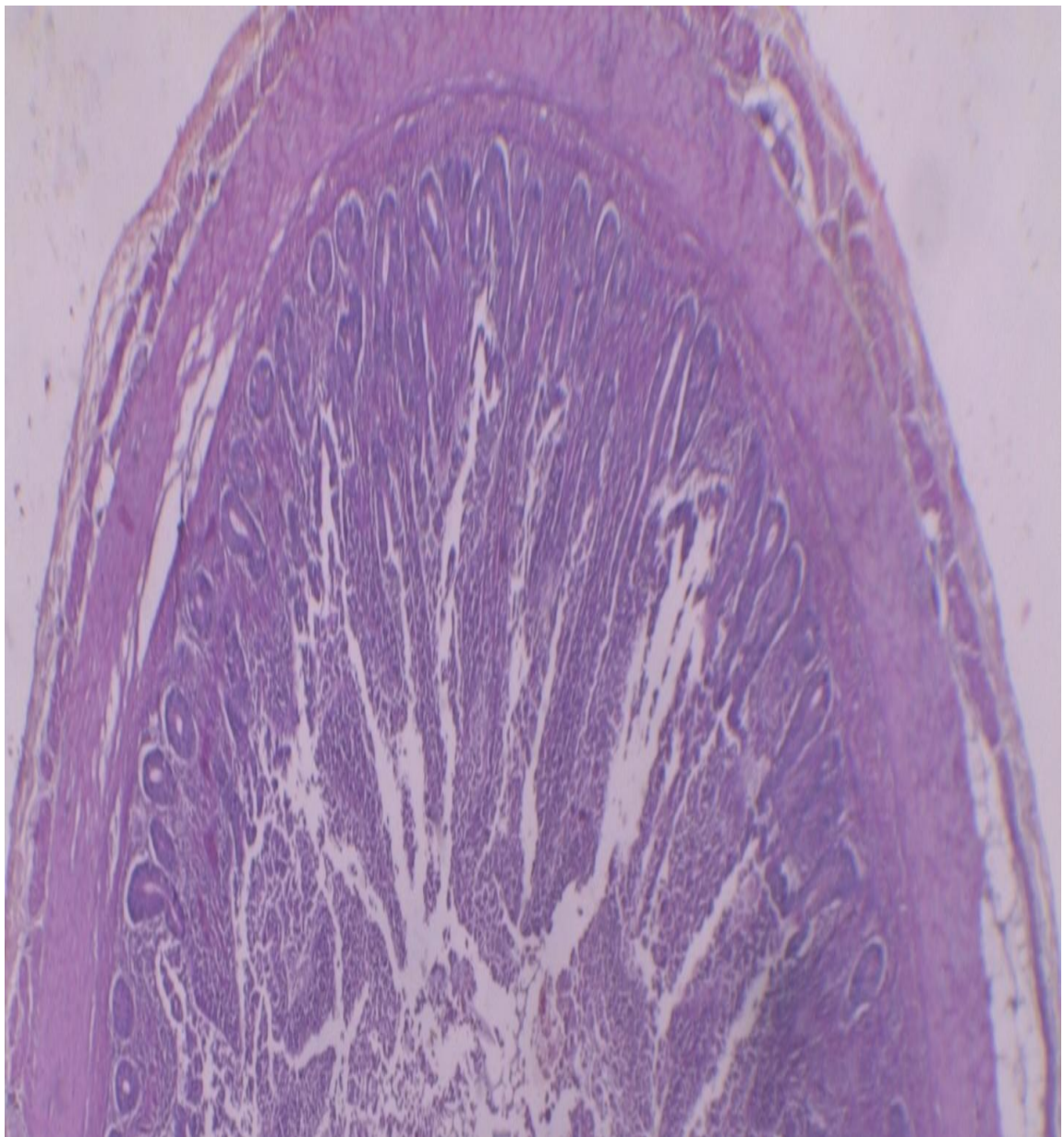
Estas diferencias pueden evidenciarse en las fotos N°6 y N°7.

**Foto N°7: Superficie de mucosa yeyunal (GT)**



Fuente: Cátedra de Histología (2019).

**Figura N°8: Superficie de mucosa yeyunal (GC)**



Fuente: Cátedra de Histología (2019).

## 7.4- ANÁLISIS SÉRICOS DE ELECTROLITOS

Resultado del análisis factorial y de los test t aplicados a los datos de las 6 variables consideradas: Cat, Mg, Na, K, Cl, Cai. En todos los casos se trabajó con 30 datos por estación.

### Calcio Total (mg/dl)

Del análisis factorial (estación del año y grupo de pertenencia) se desprenden los siguientes resultados. El valor promedio de Cat en otoño fue significativamente menor al de invierno y verano. En tanto que en el invierno fue significativamente mayor al de primavera. No hubo diferencia significativa entre grupos y no hubo efecto interacción.

En la tabla N°13 se presentan los resultados. Se informa una estimación para ambos grupos debido a que no hubo diferencia entre ellos.

**Tabla N°13: Promedio, desvío estándar y estimación de calcio total según estación y grupo de pertenencia (mg/dl)**

Estación	GT		GC		Estimación (95%)
	Promedio	Desvío	Promedio	Desvío	
Otoño	20,72	4,9	20,88	4,28	19,27; 22,34
Invierno	26,0	4,64	25,5	4,27	24,26; 27,24
Primavera	21,49	7,49	22,11	9,28	18,98; 24,61
Verano	23,67	3,69	24,44	3,4	22,68; 25,24

## Magnesio (mg/dl)

Del análisis factorial (estación del año y grupo de pertenencia) se desprenden los siguientes resultados. Hubo diferencia significativa en los valores promedios de Mg entre las estaciones. No hubo efecto grupo de pertenencia, tampoco hubo evidencia de interacción.

En la tabla N° 14 se presentan los resultados de la comparación (t test) de los datos según estación y grupo de pertenencia, se informa una estimación para ambos grupos debido a que no hubo diferencia entre ellos.

El nivel de Mg en verano fue significativamente inferior al del resto de las estaciones. No hubo diferencia significativa entre invierno y primavera. El nivel de Mg en otoño fue significativamente superior al de las restantes estaciones.

**Tabla N°14: Promedio, desvío estándar y estimación de magnesio según estación y grupo de pertenencia (mg/dl)**

Estación	GT		GC		Estimación (95%)
	Promedio	Desvío Estándar	Promedio	Desvío Estándar	
Otoño	3,598	0,415	3,705	0,301	3,574; 3,775
Invierno	3,412	0,361	3,490	0,449	3,246; 3,476
Primavera	3,318	0,532	3,342	0,573	3,188; 3,472
Verano	2,673	0,414	2,575	0,454	2,509; 2,729

## Sodio (mmol/l)

Del análisis factorial (estación del año y grupo de pertenencia) se desprenden los siguientes resultados. Para el valor de Na hubo efecto estacional, el cual es significativamente distinto entre estaciones, también hubo efecto entre grupos. Dado que el efecto interacción fue significativo, se compara a través de t test los promedios entre GT y GC según la estación.

En invierno el Na en el GT fue significativamente menor al del GC, mientras que en otoño, primavera y verano no hubo diferencia significativa entre los grupos. Ver cuadro N°15.

Con respecto al efecto estacional el nivel de Na en invierno fue significativamente menor a lo observado en las demás estaciones.

**Tabla N°15: Promedio, desvío estándar y estimación de sodio según estación y grupo de pertenencia (mmol/l)**

Estación	GT			GC		
	Promedio	Desvío Estándar	Estimación (95%)	Promedio	Desvío Estándar	Estimación (95%)
Otoño	147,05	3,90	145,11; 148,99	148,16	3,97	146,19;150,14
Invierno*	143,11	4,18	141,03; 145,19	146,13	2,49	145,10; 147,57
Primavera	146,55	3,94	144,59; 148,51	148,11	2,37	146,93; 149,29
Verano	148,77	4,11	146,73; 150,82	147,00	4,88	144,57; 149,43

\*Nota: Hay diferencia significativa ( $p < 0,05$ )

## Potasio (mmol/l)

Del análisis factorial (estación del año y grupo de pertenencia) se desprenden los siguientes resultados. Para el valor promedio de K, el análisis indica que hubo efecto estacional. No hubo efecto grupo de pertenencia, tampoco hubo evidencia de interacción.

En la tabla N°16 se presentan los resultados de la comparación (t test) de los datos según grupo de pertenencia y mes. Se informa una estimación para ambos grupos debido a que no hubo diferencia entre ellos.

En el otoño el nivel de K fue significativamente menor al promedio del resto de las estaciones. En el caso de invierno fue significativamente menor al nivel de primavera y no hubo diferencia significativa entre los niveles de primavera y verano.

**Tabla N°16: Promedio, desvío estándar y estimación de potasio según estación y grupo de pertenencia (mmol/l)**

Estación	GT		GC		Estimación (95%)
	Promedio	Desvío Estándar	Promedio	Desvío Estándar	
Otoño	5,732	0,588	5,862	0,783	5,565; 6,029
Invierno	6,428	0,761	6,896	0,640	6,414; 6,910
Primavera	9,466	3,971	9,597	3,894	8,219; 10,84
Verano	8,486	4,988	8,557	5,197	6,822; 10,220

## Cloro (mmol/l)

Del análisis factorial (estación del año y grupo de pertenencia) se desprenden los siguientes resultados. Para el valor promedio de Cl hubo diferencia entre estaciones y entre grupos, no hubo interacción.

En la tabla N°17 se presentan los resultados de la comparación (t test) de los datos según estación y grupo de pertenencia.

Respecto a las estaciones, en verano el Cl fue significativamente mayor al de otoño e invierno. En cuanto al grupo de pertenencia, el valor promedio del Cl en el GT fue significativamente menor en todas las estaciones, excepto en verano donde no hubo diferencia significativa. Siendo los meses donde hubo diferencia junio, septiembre y octubre.

**Tabla N°17: Promedio, desvío estándar y estimación para cloro según estación y grupo de pertenencia (mmol/l)**

Estación	GT			GC		
	Promedio	Desvío estándar	Estimación (95%)	Promedio	Desvío estándar	Estimación (95%)
Otoño	107,00	1,83	105,31; 108,69	111,00	1,51	109,73; 112,26
Invierno	100,94	5,71	96,85; 105,03	107,30	1,83	106,00; 108,61
Primavera	107,67	1,93	106,17; 109,15	109,60	1,26	108,70; 110,50
Verano	112,61	2,68	111,27; 113,94	113,39	3,09	111,85; 114,92

## Calcio ionizado (mmol/l)

Del análisis factorial (estación del año y grupo de pertenencia) se desprenden los siguientes resultados. El valor de Cai en verano fue significativamente menor al valor del resto de las estaciones. Con relación al grupo de pertenencia, hubo diferencia significativa en el GT en invierno (septiembre) y verano (enero y febrero) respecto al GC. Ver cuadro N°18.

Hubo efecto estacional y por grupo de pertenencia, no hubo interacción.

**Tabla N°18: Promedio, desvío estándar y estimación de calcio ionizado según estación y grupo de pertenencia (mmol/l)**

Estación	GT			GC		
	Promedio	Desvío estándar	Estimación (95%)	Promedio	Desvío estándar	Estimación (95%)
Otoño	1,301	0,147	1,240; 1,362	1,232	0,152	1,169; 1,295
Invierno	1,479	0,162	1,362; 1,595	1,282	0,096	1,212; 1,351
Primavera	1,182	0,199	1,102; 1,263	1,221	0,159	1,158; 1,284
Verano	0,957	0,167	0,877; 1,038	0,808	0,149	0,731; 0,885

## **8- DISCUSIÓN**

## DISCUSIÓN

---

### 8.1- PARÁMETROS ZOOTÉCNICOS

Un aspecto que llama la atención, en relación con los resultados productivos, es que, en el GT, la producción de huevos y todas las variables que se desprenden de ésta, alcanzaron mayores valores en primavera, es decir en una etapa de la curva de postura que podríamos genéricamente definir como de persistencia de la postura. A partir de este hecho se puede asumir que existe un patrón temporal para el efecto de los ácidos orgánicos sobre la salud intestinal que deriva en la mayor eficiencia del sistema reproductivo de la gallina. Este patrón temporal es normal para las gallinas ponedoras utilizadas en los sistemas productivos industriales. Más allá de la multicausalidad concedida al proceso de declinación normal de la postura al final del ciclo, la salud intestinal ha recibido mucha atención por sus efectos sobre varias funciones relacionadas con la persistencia de la postura (Khan *et al.*, 2020). Puntualmente se ha reconocido la importancia de la salud intestinal y la absorción de calcio para mejorar la producción de huevo (Jin *et al.*, 2024).

Los resultados hallados en este trabajo, coinciden con lo expuesto por Soltán, (2008) el cual encuentra diferencia significativa en la producción de huevos y en la masa del huevo, cuando suplementa con una mezcla de ácidos a gallinas ponedoras blancas.

También, con las investigaciones realizadas por Grashorn *et al.* (2013) quienes suplementan con un blend de ácidos a gallinas ponedoras de color, y reportan que durante todo el período experimental, la producción de huevos fue ligeramente mayor en el tratamiento con AO respecto al grupo control.

Asimismo, los resultados de esta tesis coinciden con los reportados por Youssef (2013), quien indica que la producción de huevos mejora significativamente al agregar formiato de Na, en gallinas ponedoras a la mitad del ciclo de postura y bajo EC.

Por el contrario, en investigaciones de Ruiz Reyna (2015), no se demuestran diferencias significativas en el porcentaje de postura y conversión alimenticia, cuando alimentan a gallinas ponedoras con diferentes dietas, entre ellas AO. A conclusiones similares arriban Park *et al.* (2009) respecto a la producción de huevos, mientras que, para la mortalidad y coincidiendo con los resultados de esta tesis, concluyen que la adición de AO no la afecta significativamente.

Por su parte Iglesias *et al.* (2020) utilizan una mezcla de ácidos con extractos vegetales y concluyen que su utilización permite aumentar la postura y reducir la mortalidad, lo cual podría atribuirse a la sinergia de los ingredientes.

Comparando la respuesta zootécnica obtenida, con la de los estándares de la línea genética utilizada (Lohmann, 2017), el resultado del uso de la dieta con tratamiento se encuentra dentro de estos rangos, lo cual, brindaría confiabilidad respecto al uso de este aditivo.

En esta experiencia y como se menciona al comienzo, solo se pudo comprobar para los parámetros productivos, un efecto favorable con el uso del acidificantes en la primavera (octubre, noviembre y diciembre) meses en los cuales se registraron temperaturas máximas de 34-35 °C, con lo cual se podría hacer una asociación positiva con el uso del acidificante en condiciones de EC.

Sin embargo, en el verano donde también se registraron temperaturas causantes de dicho estrés, no se pudo hacer esta misma asociación, posiblemente debido a la edad más avanzada de las aves o a la dosis del acidificante, lo cual sugiere la necesidad de investigaciones futuras que profundicen en el tema.

## 8.2- CARACTERÍSTICAS EXTERNAS E INTERNAS DEL HUEVO

En cuanto a los resultados obtenidos para el peso del huevo, se halló diferencia significativa en el GT en primavera y verano. Siguiendo con lo expuesto para los parámetros productivos, se puede afirmar que existe un patrón temporal para el efecto de los AO que permite dilucidar mayor eficiencia en primavera y verano. Estos resultados coinciden con los estudios realizados por Grashorn *et al.* (2013) quienes hallan diferencias significativas en el peso del huevo en el grupo de aves tratadas con AO, como así también lo reporta Ruiz Reyna (2015) en sus investigaciones.

Un aspecto destacable es que los ácidos tienen un comportamiento y efecto diferente según el tipo y la combinación de éstos, además de la época del año. Esto queda reflejado al comparar este estudio de tesis con investigaciones donde se utilizaron diferentes combinaciones de ácidos, coincidiendo parcialmente para la variable peso del huevo, ya que en ellas reportan diferencias significativas durante todo el período evaluado (Perrotta *et al.*, 2022).

A diferencia de los resultados expuestos en esta tesis, Youssef (2013), no halla diferencia significativa en el peso del huevo, en condiciones de EC, mientras que Soltán (2008), no encuentra diferencias para este parámetro, en gallinas a mitad de su ciclo productivo.

Respecto al espesor de cáscara, en el presente trabajo, se halló diferencia significativa en el GT, en otoño, invierno y verano, en primavera si bien no fue significativo el efecto, se encontró por encima del valor del GT.

La mejora de la calidad de la cáscara puede ser consecuencia de una mayor absorción de minerales (Giannenas, 2006). Este fenómeno de mayor absorción fue visible por el aumento del espesor de cáscara durante todo el período evaluado.

Estos hallazgos coinciden con los de Youssef (2013) cuando alimenta a gallinas ponedoras de 53 semanas de edad, bajo EC y demuestra que la adición de

acidificantes aumenta significativamente el espesor de cáscara. También coincide con lo expuesto por Soltán (2008), el cual reporta mejoras en la calidad de cáscara tras el uso de acidificantes en ponedoras.

La calidad de la cáscara disminuye con la edad del ave, el tamaño del huevo aumenta, a la vez que el peso de la cáscara se mantiene o incluso disminuye, reduciendo el porcentaje de cáscara y haciendo que ésta sea más frágil (Ortiz y Mallo, 2013). Esta disminución en la calidad de la cáscara tiene implicancias directas en la productividad y comercialización de los huevos, ya que un espesor adecuado y uniforme es esencial para garantizar su integridad y reducir las pérdidas durante el manejo y el transporte.

Coincidiendo con esto, en estudios realizados por Iglesias *et al.* (2020) reportan que la inclusión de acidificantes en dietas de ponedoras (mudadas o transitando la segunda mitad del primer ciclo) permite mejorar la calidad de cáscara.

En cuanto al IY, los resultados indican para este parámetro de calidad de huevo, diferencia significativa en invierno a favor del GC, sin embargo, no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos en las demás estaciones, por lo cual para este parámetro no se pudo asociar un efecto beneficioso al usar acidificantes. Estos resultados no concuerdan con Soltán (2008) el cual reporta diferencias significativas para IY, luego de utilizar una mezcla de ácidos en la dieta de gallinas ponedoras blancas, a la mitad de su vida productiva.

El SENASA (2013) determina, que un huevo para ser de calidad "A", como mínimo tendrá un valor de IY de 0,44 y 0,39 para uno de calidad "B", con lo cual se infiere, que si bien, el acidificante no produjo una mejoría en el GT, los valores hallados en ambos grupos se corresponden con lo esperado para un huevo tipo "A".

Respecto al IA, en este trabajo no se hallaron diferencias significativas, encontrándose alta variabilidad relativa en los datos de ambas muestras (GT y GC) coincidiendo con las conclusiones de Soltán (2008).

Por su parte las UH, tampoco mostraron diferencias significativas, coincidiendo con estudios posteriores (Alvarez *et al.*, 2023); y con Grashorn *et al.* (2013). Sin embargo, difieren de las conclusiones de Ozek *et al.* (2011) quien suplementa gallinas ponedoras con aceites esenciales y AO, y halla diferencias significativas en altura de albumina y UH, como así también lo reporta Youssef (2013) en sus publicaciones.

El IA y UH son parámetros de calidad interna y están relacionados con ciertas características funcionales del huevo, como el poder emulsionante, espumante, aglutinante, entre otros, de suma importancia en diferentes áreas de la gastronomía. En este trabajo estos parámetros no se vieron favorecidos, coincidiendo con lo reportado por Grashorn *et al.* (2013) quien afirma que la suplementación con AO, perjudica la calidad interna del huevo en lugar de mejorarla.

Si bien los acidificantes promueven la absorción intestinal de nutrientes, la síntesis de las proteínas y minerales constituyentes de la albúmina ocurre principalmente en las glándulas del magnum. La ausencia de un efecto significativo del acidificante sobre los parámetros de calidad interna del huevo, podría estar asociada a una falta de influencia directa sobre estas glándulas.

El color de yema no presentó diferencia significativa entre los grupos, coincidiendo con Park *et al.* (2009), quienes tampoco encuentran efectos del tratamiento con acidificantes sobre esta variable.

### 8.3- VELLOSIDADES INTESTINALES

En este apartado podemos relacionar varios resultados, debido fundamentalmente a que es, en parte, el sitio de acción de los AO.

Como anteriormente se citó, los AO al reducir el pH tienen un efecto favorable en la mucosa intestinal. A partir de los resultados obtenidos, se infiere, que la longitud de la mucosa intestinal se vio aumentada significativamente a nivel del yeyuno, y esto se tradujo en una mayor superficie de absorción y aprovechamiento de los nutrientes. Esto queda demostrado en la mejora de los parámetros productivos y en las características externas como el peso y espesor de la cáscara.

A resultados semejantes arribaron García *et al.* (2007) quienes suplementan a pollos de engorde con ácido fórmico, y observan vellosidades más altas, como también lo hicieron El-Katcha *et al.* (2021) que reportan aumentos significativos en la longitud de las vellosidades intestinales en pollos suplementados con butirato de Na en la dieta.

Asimismo, Adewole *et al.* (2021) utilizan AO y aceites esenciales y logran mejorar la morfología intestinal, con una influencia positiva en la salud intestinal de las aves al cambiar la diversidad de la microbiota y estimular el crecimiento de microorganismos intestinales potencialmente beneficiosos.

Por su parte, Adil *et al.* (2010) reportan que la adición de AO aumenta la altura de las vellosidades en el intestino delgado y esto se traduce en efectos beneficiosos sobre el rendimiento de los pollos de engorde. A resultados similares arriban Paul *et al.* (2007), al utilizar AO en forma de sales, como formiato de amonio y propionato de Ca, durante los 42 días de vida del pollo de engorde.

Por el contrario, Boaro *et al.* (2011) no hallan efecto benéfico sobre la morfometría de la mucosa del duodeno en pollos de engorde de 42 días, suplementados entre otros aditivos con AO.

## 8.4- ELECTROLITOS

Los resultados obtenidos revelan diferencias estacionales en todos los electrolitos analizados. Sin embargo, solo se halló diferencia significativa entre grupos (GT y GC) para el Ca, Na y Cl.

Respecto a la estacionalidad y analizando los resultados de electrolitos que intervienen en el equilibrio ácido-base como el Cl, K y Na, en el caso del Cl, y en coincidencia con la bibliografía, al ser un electrolito acidogénico (Betancourt y Romero, 2002) en este trabajo, en verano, se halló diferencia respecto a las demás estaciones (el valor fue mayor) y podría atribuirse a que el estrés por calor al producir alcalosis respiratoria, induce un aumento del Cl para compensar el pH. Si se analiza desde el grupo de pertenencia, se observa que ese aumento en el valor del Cl se da independientemente del uso o no del acidificante, es decir que el producto no afecta los niveles de este electrolito en sangre.

Para el K y Na según la bibliografía, son electrolitos alcalinogénicos (Betancourt y Romero, 2002), se esperaría que los mismos disminuyan en un proceso de alcalosis y aumenten en acidosis metabólica. Sin embargo, el K en esta investigación tuvo un comportamiento diferente, presentando mayores valores en primavera y verano respecto a otoño e invierno. Para el caso del Na sucedió algo similar, con valores en invierno inferiores a los del resto del año. Cabe agregar respecto a este último electrolito, que fue el único en el cual se pudo establecer interacción entre estación del año y grupo de pertenencia, siendo para el GT el invierno la estación en la cual se registraron los valores más bajos.

Debido a que no se realizó un análisis detallado del balance electrolítico de la dieta utilizada se limita la interpretación de los resultados obtenidos para los electrolitos Na, K y Cl. Esto se debe a que el equilibrio ácido-base de las aves está estrechamente vinculado al balance electrolítico de la dieta, y sin conocer el aporte mineral exacto de

las materias primas, es difícil establecer una relación causal entre los hallazgos, las variables dietéticas y el uso del acidificante.

Para el Mg desde el punto de vista estacional, se hallaron diferencias significativas con valores inferiores en la época estival respecto al resto del año, si se considera que el Mg interviene a nivel del huevo en la dureza de la cáscara (Hy Line, 2017) serían necesarios posteriores estudios que relacionen los niveles séricos de Mg y la dureza de la misma. Debido a que no se hallaron diferencias significativas por el uso del acidificante entre los grupos, se infiere que el uso del mismo no mejora los niveles séricos de este mineral.

Para el Cat hubo diferencia significativa en invierno siendo superior el valor respecto al de otoño y primavera, pero sin diferencia significativa con el verano. Respecto al grupo de pertenencia, al no hallarse diferencia significativa en el GT se deduce que el uso de este acidificante no influyó en su absorción.

Para el Cai se hallaron diferencias significativas en verano, siendo el valor de este electrolito inferior al resto de las estaciones. Sin embargo, si se analizan los resultados según el grupo de pertenencia, se puede determinar que aquellas gallinas suplementadas con el blend de ácidos (GT) tuvieron diferencias significativas favorables respecto al GC en invierno y verano. Es decir, si bien el valor sérico en verano fue inferior al resto de las estaciones, en el GT fue superior al GC, con lo cual se puede afirmar que el uso de este acidificante tiene un efecto beneficioso al ser utilizado en épocas de alta temperaturas y EC.

Hay que considerar en este punto, que el Ca disponible para las funciones fisiológicas es el Cai, es por esto que el uso de acidificantes en este trabajo, influyó en la disponibilidad de Ca en sangre y no en la absorción del mismo.

Estos resultados coinciden con lo expuesto por Soltán, 2008, quien suplementa con concentraciones crecientes de ácidos en la dieta a gallinas ponedoras y reporta un aumento lineal del Ca sérico.

También concuerda con los resultados de Youssef (2013), quien reporta que la acidificación de la dieta eleva significativamente la concentración de Ca y P en plasma de gallinas ponedoras a las cuales les adiciona en el alimento formiato de Na, en condiciones de estrés por calor. Como también Adil *et al.* (2010) que hallan resultados similares en sus investigaciones.

## **9- CONCLUSIONES**

## CONCLUSIONES

---

Para los parámetros zootécnicos, el uso de acidificantes en la dieta, logró diferencia significativa en primavera. Para el resto del año si bien no hubo diferencia se mantuvieron comparables a los estándares de la línea genética.

Para las características de calidad externa del huevo, peso y espesor de cáscara, se hallaron diferencias significativas con el uso del acidificante, demostrando su beneficio. Desde el punto de vista productivo y comercial es fundamental un adecuado espesor de cáscara y constante con el transcurso de la edad de la gallina. Esto, reafirma la idea, que el uso de acidificante como promotor de crecimiento, es beneficioso para mantener valores de espesor de cáscara persistente, durante toda la vida productiva de la ponedora.

Para las variables de calidad interna si bien no se halló diferencia significativa, cabe destacar que los valores registrados se ajustaron a los parámetros establecidos por el SENASA.

El uso de este blend de ácidos permitió aumentar la superficie de absorción de nutrientes a nivel de la mucosa yeyunal, lo cual se vio reflejado con la mejora de los parámetros zootécnicos, espesor de cáscara y peso del huevo.

En esta investigación no se pudo comprobar que el uso de acidificantes evitara el desequilibrio ácido-base producto del EC, ya que al intervenir diferentes factores en el equilibrio ácido-base, como el balance electrolítico de la dieta y al no haberse determinado éste, es difícil establecer una relación causal entre los hallazgos, las variables dietéticas y el uso del acidificante.

La acidificación, sí mejoró significativamente la disponibilidad del Cai en sangre, en verano, atenuando la influencia del EC e influyendo directamente sobre uno de los parámetros de calidad externa como es el espesor de cáscara.

## **10- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

1. Abad-Guamán R., Capa-Morocho M., Herrera-Yunga V., Herrera-Herrera R., Escudero-Sanchez G., (2017). Cambios en la microbiota intestinal de las aves y sus implicaciones prácticas. *Centro de Biotecnología*, 6: 98-108.
2. Acebal, J., Deluchi, P., Melo, J. (2018). Estrés térmico en aves: utilización de una combinación a base de extractos vegetales y betaína natural. Disponible en <https://cladan.com.ar/estres-termico-en-aves-utilizacion-de-una-combinacion-a-base-de-extractos-vegetales-y-betaina-natural/>.
3. Adewole, D., Oladokun, S., Santin, E. (2021). Effect of organic acids essential oils blend and oat fiber combination on broiler chicken growth performance, blood parameters, and intestinal health. *Animal Nutrition* 7: 1039-1051.
4. Adil, S., Bandy, T., Bhat, G. A, Mir, M.S., Rehman, M. (2010). Efecto de la suplementación dietética con ácidos orgánicos sobre el rendimiento, la histomorfología intestinal y la bioquímica sérica de pollos de engorde. *Medicina Veterinaria Internacional*, p 479-485.
5. Albrecht, H., Siegel, P., Pierson, F., Lewis, R. (2012). Egg quality traits differ in hens selected for high as compared with low antibody response to sheep red blood cells. *Poultry Science* 91: 3025-3031
6. Aleu, G., Rosmini, M., Sequeira, G., Zogbi, A., Vico, J.P., Saavedra, S., Sánchez, I. (2018). Guía para el aseguramiento de la calidad en industrias de alimentos de origen animal. Baez Ediciones. Cordoba, Argentina. ISBN 978-987-1498-73-4

7. Alvarez, C., Perrotta, C., Córdoba, O., Savoy, J.P., Advínculo, S., Viola, N., Boeris, V., Antruejo, A. (2023). Efecto de la incorporación de ácido cítrico con propionato de calcio en el alimento de las gallinas ponedoras sobre el porcentaje de postura y las unidades Haugh. XII Jornadas de Jóvenes Investigadores. Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad de Buenos Aires.
8. Ángel-Isaza, J., Mesa-Salgado, N., Narváez-Solarte, W. (2019). Ácidos orgánicos, una alternativa en la nutrición avícola: una revisión. *Rev. CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 14 (2): 45-58.
9. Antruejo, A. (2009). Obtención de huevos de gallinas para consumo de calidad diferenciada, incrementando la proporción de ácidos grasos omega-3 y reduciendo el contenido de colesterol. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Rosario.
10. Arango, J. (2013). Calidad Externa e Interna del Huevo. *Rev. Amevea*. Colombia.
11. Ardoino, S., Toso, R., Toribio, M., Álvarez, H., Mariani, E., Cachau, P., Mancilla, M., Oriani, D. (2017). Antimicrobianos como promotores de crecimiento en alimentos balanceados para aves: uso, resistencia bacteriana, nuevas alternativas y opciones de reemplazo. *Rev. Ciencia Veterinaria*, 19: 50-66 DOI: <http://dx.doi.org/10.19137/cienvet-20171914>.
12. Badejo, H., Dilala, M., Potiskum, S., Doma, U. (2019). The Effect of Various Calcium and Phosphorus Sources on Productive and Egg Quality Performances of Spent Layers. *IOSR Journal Of Humanities And Social Science (IOSR-JHSS)* 24, 7: 69-75. e-ISSN: 2279-0837.
13. Bagust, T.J. (2013). Salud de las aves de corral y control de enfermedades en los países en desarrollo. En Revisión del desarrollo avícola. FAO. pp. 102-107.

14. Barrera-Barrera, H., Rodríguez-González, S., Torres-Vidales, G. (2014). Efectos de la adición de ácido cítrico y un probiótico comercial en agua de bebida, sobre la morfología del duodeno y parámetros zootécnicos en pollo de engorde. *Orinoquia*, 18, 2: 52-65. <https://doi.org/10.22579/20112629.306>.
15. Beardsworth, P., Hernandez, J. (2004) Yolk colour-an important egg quality attribute. *International Poultry Production*, 12 (5): 17-18.
16. Beier, R., Harvey, R., Hernandez, C., Hume, M., Andrews, K., Droleskey, R., Davidson, M., Bodeis-Jones, S., Young, S., Duke, S. (2018). Interactions of organic acids with *Campylobacter coli* from swine. Doi: 10.1371/journal.pone.0202100.
17. Betancourt, L., Romero, H. (2002) Una revisión del metabolismo ácido-base y su relación con la nutrición en aves. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 15: 2.
18. Boaro, M., Fernández, B., Aguiar, E., Méndes, A., Milbradt, E., Boaro Martins, B. (2011). Morfometría de la mucosa del duodeno en pollos de engorde suplementados con mejoradores del desempeño. Disponible en [https://www.engormix.com/avicultura/salud-intestinal-aves/morfometria-mucosa-duodeno-pollos\\_a29158/](https://www.engormix.com/avicultura/salud-intestinal-aves/morfometria-mucosa-duodeno-pollos_a29158/).
19. Boletín oficial de la República Argentina. (2022). Ley de Prevención y Control de la Resistencia a los Antimicrobianos N° 27.680. <https://www.boletinoficial.gob.ar/#!DetalleNorma/270118/20240827>
20. Bovšková, H., Míková, K., Panovská, Z. (2014). Evaluation of Egg Yolk Colour. *Czech J. Food Sci.* 32, (3): 213–217.

21. Brue, R. N. (1994). Nutrition. En B. Ritchie, G. Harrison, L. Harrison, eds. Avian Medicine: principles and application: pp. 89-93. Wingers Publishing, Inc.
22. Cabrera, O. (2014). El uso de los acidificantes en avicultura. Agrinews. <https://agrinews.es/2014/03/18/el-uso-de-los-acidificantes-en-avicultura/>.
23. CAPIA (2022). Cámara Argentina de Productores e Industrializadores Avícolas. Estadísticas. [www.capia.com.ar](http://www.capia.com.ar)
24. CAPIA (2023). Cámara Argentina de Productores e Industrializadores Avícolas. Estadísticas. [www.capia.com.ar](http://www.capia.com.ar)
25. Carlson, G. (1997). Fluid, electrolyte and acid-base balance. En: Clinical biochemistry of domestic animals. Edited by Kaneko J, Harvey J and Bruss M. Academic Press, 5ta Ed. 485-516.
26. Casana Rico, C. (2017). El uso de antibióticos en la industria alimentaria y su contribución al desarrollo de resistencias. Determinantes de la diseminación de la resistencia a la colistina. Trabajo final de grado. Universidad Complutense.
27. Castaño Márquez, J.A. (2021). Ecofisiología y Sanidad Animal. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, UDCA, Colombia.
28. Castelló Llobet, J.A., Leonart Roca, F., Campo Chavarri, J.L., Orozco Piñán, F. (1989). Biología de la gallina. Barcelona: Tecnograf. ISBN 84-600- 7249-5.
29. Catalá Gregori, P., Barragá Cos, J. (2019). Principales retos en avicultura. Nutrición e integridad de la barrera intestinal. Ed Servet.

30. Cavero Pintado, D. (2017). Calidad interna del huevo. AviNews. Disponible en: [https://avinews.com/download/calidad-huevo\\_2.pdf](https://avinews.com/download/calidad-huevo_2.pdf).
31. Charles, D.R. (2002). Responses to the thermal environment. En: Poultry Environment Problems: A guide to solutions. Charles, D.A. y Walker, A.W. Eds. Nottingham University Press, Nottingham, United Kingdom. 1-16
32. Cogan, M. (1993). Líquidos y electrólitos. Manual Moderno. México. p.337.
33. Corona Lisboa, J. L. (2017). Efecto del estrés calórico sobre la fisiología y calidad del huevo en gallinas ponedoras. Los avicultores y su entorno 114, BM Editores. Sitio Argentino de Producción animal. [https://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_aves/stres\\_calorico/15-Efecto del Estres Calorico.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_aves/stres_calorico/15-Efecto_del_Estres_Calorico.pdf)
34. Davidson, P. y Taylor, T. (2007). Chemical preservatives and natural antimicrobial compounds. Food Microbiology. Fundamentals and Frontiers. 3° Edition.
35. De Franceschi, M. (2018) Composición y manejo de la flora intestinal en aves. Artículos técnicos avicultura. Cladan. <https://cladan.com.ar/publicaciones/articulos-tecnicos/composicion-y-manejo-de-la-flora-intestinal>.
36. Díaz Arango, G. (2022). Manejo del estrés por calor en gallinas ponedoras. AviNews. <https://avinews.com/manejando-estres-por-calor-gallinas-ponedoras>.
37. Elnesr, S. S., Alagawany, M., Elwan, H. A., Fathi, M. A., & Farag, M. R. (2020). Effect of sodium butyrate on intestinal health of poultry—a review. *Annals of Animal Science*, 20(1), 29-41.

38. El-Katcha, M., Soltan, M., El-Banoby, M., El-Naggar, K. (2021). Essential Oils and Sodium Butyrate supplementation in Broilers: Effect on growth, Nutrients Digestibility, Intestinal Morphology, and Blood biochemistry. *Alexandria Journal of Veterinary Sciences*. 70 (1): 47-57 doi: 10.5455/ajvs.86223.
39. Errecalde, J.O. (2004). Uso de antimicrobianos en animales de consumo: incidencia del desarrollo de resistencias en salud pública. FAO. Producción y Sanidad Animal N° 162. <http://www.fao.org/3/a-y5468s.pdf>
40. Estrada, M., Galeano, L., Herrera, M., Restrepo, L. (2010). Efecto de la temperatura y el volteo durante el almacenamiento sobre la calidad del huevo comercial. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 23 (2) 183-190.
41. Filardi, R. S., Tedeschi, L., Aldrigui, L., Gacia Neto, M., Andrade, M., Laurentiz, A. (2012). Aplicación del concepto de equilibrio de electrolitos en la calidad del huevo de las gallinas ponedoras almacenados en temperatura ambiente. 50° Congreso Científico de Avicultura.
42. FAO (2015) Food and Agriculture Organization of the United Nations. Conferencia 39° período de sesiones. Informe de situación sobre la resistencia a los antimicrobianos. <http://www.fao.org/3/a-mm736s.pdf>.
43. Franco-Jimenez, D., y Beck, M. (2007). Physiological changes to transient exposure to heat stress observed in laying hens. *Poult Sci*, 86 (3) 538-544.
44. Fuentes Pérez de los Cobos, P. (2002). Calidad interna del huevo y su conservación. Lecciones sobre el huevo. Consejo asesor del instituto de estudios del huevo. Cap. 4. Pp 57-73.

45. FEDNA (2010). Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Ingredientes para los alimentos. . <https://www.fundacionfedna.org/>
46. Galobart, J., Sala, R., Rincon-Carruyo, X., Manzanilla, E., Vila, B., Gasa, J. (2004). Egg yolk color as affected by saponification of different natural pigmenting sources. *Applied Poultry Research*. 13:328–334.
47. García, V., Catalá-Gregori, P., Hernández, F., Megías, M.D.; Madrid, J. (2007). Efecto del ácido fórmico y los extractos de planta sobre el crecimiento, la digestibilidad de los nutrientes, la morfología de la mucosa intestinal y el rendimiento cárnico de los pollos de engorde. *Journal of Applied Poultry Research* 16 (4): 555-562.
48. García, M. (2022). Importancia de la microbiota intestinal de las aves y su posible regulación con el uso de fibras. *Avicultura.mx*. <https://www.avicultura.mx/destacado/importancia-de-la-microbiota-intestinal-de-las-aves-y-su-posible-regulacion-con-el-uso-de-fibras>.
49. Gauthier, R. (2005). La salud intestinal clave de la productividad. El caso de los ácidos orgánicos. *Engormix*. <http://www.engormix.com/MA-avicultura/nutricion/articulos/salud-intestinal-clave-productividad-t518/p0.htm>
50. Giannenas, I. (2006) Organic acids in pig and poultry nutrition. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society* 57(1), 51-62.
51. Grashorn, M., Gruzauskas, R., Dauksiene, A., Raceviciute-Stupeliene, A., Jarule, V., Mieželiene, A., Alencikiene, G., Slausgalvis, V. (2013). Influencia de los ácidos orgánicos de la dieta sobre la calidad y los atributos sensoriales de los huevos de gallina. *European Poultry Science* , **77** (1) 29-34. Editorial Eugen Ulmer, Stuttgart.

52. Gross, G., Perrotta, C., Córdoba, O., Alvarez, C., Boeris, V., Savoy, J.P., Savoy, J., Viola, N., Advínculo, S., Antruejo, A. (2022). Efecto de la incorporación de ácido cítrico en el alimento de las gallinas ponedoras sobre la capacidad emulsificante de los huevos. XXII Jornadas de Divulgación Técnico Científicas 2022. Universidad Nacional de Rosario.
53. Hy Line (2016). Entendiendo el estrés por calor en las ponedoras: consejos de manejo para mejorar el rendimiento del lote en climas cálido. Boletín técnico. <https://www.hyline.com/spanish>.
54. Hy Line (2017). La ciencia de la calidad del huevo. Boletín técnico. <https://www.hyline.com/spanish>
55. Hy Line (2018). Mejorando el tamaño del huevo en las ponedoras comerciales. Boletín técnico. <https://www.hyline.com/spanish>
56. Iglesias, B., Charrière, M., Fain Binda, V., Vicente, G. (2020). Uso de un acidificante enriquecido en sodio en granja comercial de postura. Agro industria. Publicación de la cámara argentina de empresas de nutrición animal 152: 48-49.
57. Instituto de Estudios del Huevo. (2017). El gran libro del huevo. Ed. Everest.
58. INTA. (2018). Faena de Aves. Programa Nacional de Producción Animal. Ministerio de Agroindustria. Presidencia de la Nación.
59. Jaramillo, A. (2009). Ácidos Orgánicos (cítrico y fumárico) como alternativa a los antibióticos promotores de crecimiento (Bacitracina de Zn) en dietas para pollos de engorde. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*. 2, (2): 4-21.

60. Javierre, J. (2006). Acidificantes Sinérgicos en Avicultura: Aplicación Específica para el Manejo del Estrés de Calor. Engormix. [www.engormix.com](http://www.engormix.com)
61. Jin, J., Li, Q., Zhou, Q., Li, X., Lan, F., Wen, C., ... & Sun, C. (2024). Calcium deposition in chicken eggshells: role of host genetics and gut microbiota. *Poultry Science*, 103(10), 104073.
62. Khan, S., Moore, R. J., Stanley, D., & Chousalkar, K. K. (2020). The gut microbiota of laying hens and its manipulation with prebiotics and probiotics to enhance gut health and food safety. *Applied and environmental microbiology*, 86(13), e00600-20.
63. Koyuncu, S., Andersson, M., Löfström, C., Skandamis, P., Gounadaki, A., Zentek, J., Häggblom, P. (2013). Organic acids for control of *Salmonella* in different feed materials. *BMC Veterinary Research*. <https://doi.org/10.1186/1746-6148-9-81>.
64. Lambert, R. y Stratford, M (1999). Weak acid preservatives : modeling microbial inhibition and response. *Journal of Applied Microbiology*. 86, 157-164.
65. Lohmann, (2017). Guía de manejo. Disponible en: <https://www.lohmanngb.co.uk/products/lohmann-brown-classic/>
66. López, A. (2009). Uso de dos promotores naturales como alternativa a antibióticos promotores en el comportamiento productivo del pollo de engorda. [http://www.fmvz.unam.mx/fmvz/centros/ceiepav/archivos/aneca\\_09/Aaron\\_Ernesto\\_López.pdf](http://www.fmvz.unam.mx/fmvz/centros/ceiepav/archivos/aneca_09/Aaron_Ernesto_López.pdf)
67. Lückastäd, C. (2017). Un enfoque estratégico par el control de Salmonella en aves de corral. Engormix. [https://www.engormix.com/avicultura/acidificantes-aves/enfoque-estrategico-control-salmonella\\_a41653/](https://www.engormix.com/avicultura/acidificantes-aves/enfoque-estrategico-control-salmonella_a41653/)

68. Lumeij, J. T. (1994) Endocrinology. Avian Medicine: principles and application. Wingers publishing, inc.
69. Macari, M., y Maiorka, A. (2001). Aspectos fisiológicos da qualidade instestinal pré- e pós-eclosão e produtividade em frangos de corte. XXII Seminario Avícola Internacional. Amevea. Colombia. pp.46-57.
70. Mahmood, T. y Guo, Y., (2020). Dietary fiber and chicken microbiome interaction: Where will it lead to. *Animal Nutrition*, 6: 1-8.}
71. Martin Gairal, N. (2019) Calidad interna del huevo. Veterinaria digital. <https://www.veterinariadigital.com/articulos/calidad-interna-del-huevo/>
72. Matias, C. (2020). Acidos orgánicos, un aporte de la ciencia que mejora el desempeño animal. Biomin. <https://www.biomin.net>
73. Medina, V. (2021). Control microbiológico con combinaciones sinérgicas de ácidos orgánicos y formaldehído. Artículo técnico. Engormix. [https://www.engormix.com/balanceados/salmonella-alimentos-balanceados/control-microbiologico-combinaciones-sinergicas\\_a47807/](https://www.engormix.com/balanceados/salmonella-alimentos-balanceados/control-microbiologico-combinaciones-sinergicas_a47807/)
74. Menher, A. (1989). La gallina. Fundamentos de la Fisiozootecnia. En Fundamentos de la producción (pp 140-145). Zaragoza: Acribia.
75. Mertens, K., Vaesen, I., Loffel, J., Kemps, B., Kamers, B., Perianu, C. (2010). The transmission color value: a novel egg quality measure for recording shell color used for monitoring the stress and health status of a brown layer flock. *Poultry Science*, 89 pp. 609-17.

76. Ministerio de Salud y Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. (2015). Boletín oficial de la República Argentina. Resolución conjunta 834/2015 y 391/2015. Estrategia argentina para el control de la resistencia antimicrobiana. <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-834-2015-248651>
77. Moreno-Martínez, E., Vázquez-Badillo, E., Facio-Parra, F. (2000). Uso de sales del ácido propiónico para inhibir la producción de aflatoxinas en granos almacenados de maíz. *Agro ciencia* 34 (4) 477-484.
78. Navalon, J. L. (1995). Nociones de racionamiento en gallinas ponedoras comerciales. En: Buxadé, C. Zootecnia. Tomo V. Madrid. Mundiprensa. P. 283-304.
79. North, M. O. (1993). Manual de Producción Avícola. 3<sup>er</sup> ed. México D. F.: Manual Moderno. ISBN 968- 426- 611-1.
80. Olanrewaju, H.A., Wongpichet, S., Thaxton, J. P., Dozier, W., Branton, S. (2006). Stress and acid-base balance in chickens. *Poultry Science* 85 (7): 1266-74
81. Olmix, (2020). Estrés calórico en aves. <https://www.olmix.com/es/noticias/estres-calorico-en-aves>
82. Ortiz, A., Mallo, J. (2013). Factores que afectan a la calidad externa del huevo. *Rev. Albéitar* 170: 18-19.
83. Özek, K., Wellmann, B., Ertekin, Tarım, B. (2011). Effects of dietary herbal essential oil mixture and organic acid preparation on laying traits, gastrointestinal

- tract characteristics, blood parameters and immune response of laying hens in a hot summer season. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 20, 575–586.
84. Paolilli, M.C., Iglesias, B., Cabrini, S., Fillat, F., Pagliaricci, L. (2022). La cadena del huevo en Argentina. Indicadores económicos e informes técnicos. INTA EEA. Pergamino.
85. Papatsiros, G., Papatsiros, V., Billinis, C. (2012). El uso profiláctico de acidificantes como agentes antibacterianos en cerdos. En IntechOpen. Doi: 10.5772/32278.
86. Park, K., Rhee, A., Um, J., Paik, I. (2009) Effect of dietary available phosphorus and organic acids on the performance and egg quality of laying hens. Poultry Science Association, Inc.
87. Paul, S.K., Halder, G., Mondal, M.K., Samanta, G. (2007). Effect of organic acid salt on the performance and gut health of broiler chicken. *The Journal of Poultry Science* 44: 389-395. <https://doi.org/10.2141/jpsa.44.389>
88. Pelicano, E., Souza, P., Souza, H., Figueiredo, D., Boiago, M., Carvalho, S., Bordon, V. (2005). Intestinal mucosa development in broiler chickens fed natural growth promoters. *Rev Bras Cs Avic* 7 (4): 221-229
89. Perrotta, C., Alvarez, C., Boeris, V., Savoy, J., Savoy, J. P., Viola, N., Antruejo, A. (2022). Efecto del uso de ácido cítrico con propionato de calcio en el alimento de las gallinas ponedoras sobre la postura, peso y forma de los huevos. XXIV Congreso y XLII Reunión Anual de la Sociedad de Biología de Rosario.
90. Perrotta, C., Alvarez, C., Boeris, V., Savoy, J.P., Córdoba, O., Viola, N., Sarkissian, C., Antruejo, A. (2023). XII Jornadas de Jóvenes Investigadores. Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad de Buenos Aires.

91. Pierson, E. (2017). Improve broiler, layer bone strength with magnesium oxide. WattPoultry. [https://www.wattagnet.com/articles/31323-improve-broiler-layer-bone-strength-with-magnesiumoxide?utm\\_source=KnowledgeMarketing](https://www.wattagnet.com/articles/31323-improve-broiler-layer-bone-strength-with-magnesiumoxide?utm_source=KnowledgeMarketing)
92. Pradenas, C.A. (2001). Efecto del estrés adrenérgico sobre la calidad de la cáscara del huevo de las gallinas. Tesis doctoral. Santiago de Chile.
93. Roberts, J.R. & Ball, W. (2004). Egg quality guidelines for the Australian egg industry. Australian Egg Corporation Limited Publication 03/19 pp. 32.
94. Rodriguez Navarro, A. (2021). La cáscara de huevo: estructura, formación y qué factores afectan a su calidad. Revista AviNews. <https://avinews.com/la-cascara-de-huevo-estructura-formacion-que-factores-afectan-a-su-calidad/>
95. Roe, A., McLaggan, D., Davidson, I., O'Byrne, C., Booth, I. (1998) Perturbation of anion balance during inhibition of growth of *Escherichia coli* by weak acids. *Journal of Bacteriology*, 180, (4): 767-772.
96. Ruiz Reyna, K.M. (2015). Evaluación del efecto de la asociación de un ácido orgánico, prebiótico y probiótico en la integridad intestinal y comportamiento productivo de gallinas ponedoras lohmann. Tesis de grado. Universidad privada Antenor Orrego, Perú.
97. Scapinello, C., Garcia de Faria, H., Furlan, A., Shimack Pedro, M. (1998). Influência de diferentes níveis de Ácido Fumárico ou Ácido Acético sobre o desempenho de coelhos em crescimento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 27 (5) 945-950.

98. Schwarze, E. (1980). Compendio de Anatomía Veterinaria Tomo V: Anatomía de las aves. Zaragoza: Acribia.
99. SENASA (2013). Servicio Nacional de Sanidad Agroalimentaria. Resolución 154/2013. Huevos y Ovoproductos. [http://www.senasa.gob.ar/sites/default/files/normativas/archivos/anexo\\_huevos.pdf](http://www.senasa.gob.ar/sites/default/files/normativas/archivos/anexo_huevos.pdf)
100. SENASA (2015). Servicio Nacional de Sanidad Agroalimentaria. Resolución 591/2015. Programa Nacional de Vigilancia de resistencia a los antimicrobianos en los animales destinados a consumo humano. [http://www.senasa.gov.ar/sites/default/files/normativas/archivos/res\\_591-2015.pdf](http://www.senasa.gov.ar/sites/default/files/normativas/archivos/res_591-2015.pdf)
101. SENASA (2024). Servicio Nacional de Sanidad Agroalimentaria. Resolución 445/2024. <https://www.boletinoficial.gob.ar/#!DetalleNorma/306555/20240429>
102. Shiva Ramayoni, C.M., (2007). Estudio de la actividad antimicrobiana de extractos naturales y ácidos orgánicos. Posible alternativa a los antibióticos promotores de crecimiento. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona. <https://portalrecerca.uab.cat/es/studentTheses/estudio-de-la-actividad-antimicrobiana-de-extractos-naturales-y-%C3%A1>
103. Soler Castillo, R. y Bueso Ródenas, J. (2017). Análisis de las alteraciones de la cáscara del huevo de gallina. Revistas científicas UCV. <https://revistas.ucv.es/nereis/index.php/Nereis/article/download/388/344?inline=1>
104. Soltán, M. A., (2008). Effect of dietary organic acid supplementation on egg production, egg quality and some blood serum parameters in laying hens. *International Journal of Poultry Sciences* 7 (6): 613-621.

105. Suárez Fernández, G. (2002). Microbiología del huevo: *Salmonella*. En Instituto de estudios del huevo (Ed.), Lecciones sobre el huevo 1ªEd. Pp. 89-97.
106. Swiatkiewicz, S., Koreleski, J., Arczewska, A. (2010). Laying performance and eggshell quality in laying hens fed diets supplemented with prebiotics and organic acids. *Czech Journal of Animal Science* 55(7): 294-306
107. Swiatkiewicz, S. y Arczewska-Wlosek, A. (2012) *World's Poultry Science Journal.*, 68: 269-280.
108. Thompson, J. y Hinton, M. (1997). Antibacterial activity of formic and propionic acids in the diets of hens on *Salmonellas* in the crop. *Br. Poult. Sci.* 38, 59–65
109. Uni, Z., Ganot, S., Sklan, D. (1998). Posthatch development of mucosal function in the broiler small intestine. *Poultry Science* 77 (1). 75-82
110. Van Immerseel, F., Russell, J., Flythe, M., Gantois, I., Timbermont, L., Pasmans, F., Haesebrouck, F., Ducattelle, R. (2006). The use of organic acids to combat *Salmonella* in poultry: a mechanistic explanation of the efficacy. *Avian Pathology* 35(3): 182-188. DOI: 10.1080/03079450600711045.
111. Vander Brand, H. (2008). Kemp. Storage of eggs in water affects internal egg quality, embryonic development, and hatchling quality. *Poult Sci*, 2008, no 87, p. 2350-2357
112. Vanneste, K. (2017). Ácidos grasos de cadena media mecanismos de acción. NutriNews <https://nutrinews.com/acidos-grasos-cadena-media-mecanismos-accion/?reload=yes>

113. Vicuña, E. A. (2020). Exposición entérica a deoxivalenol y ruptura de la integridad intestinal. XIII Congreso internacional AVEM.
114. Yesilbag, D., Çolpan, I., (2006). Effects of organic acid supplemented diets on growth performance, egg production and quality and on serum parameters in laying hens. *Revue Méd. Vét.* 157, (5): 280-284.
115. Youssef, A. W., El-Daly, E. F., Abd El-Azeem, N. A., El-Monairy, M. M. (2013). Effect of sodium formate on laying hen performance, gastrointestinal tract pH and some blood components under heat. *Asian Journal of Poultry Science*, 7(1), 17-26.

## **11- AGRADECIMIENTOS**

## AGRADECIMIENTOS

---

Fueron muchos años de trabajo y camino recorrido, tanto de formación académica como de relaciones interpersonales.

Agradezco especialmente a mi directora de tesis, Dra. Alejandra Antruejo, por su constante motivación a superarme como profesional, ser un pilar y mi guía en este camino de la investigación y docencia.

A mi Co-Directora Dra. Ana María Craveri, por su paciencia e inestimable colaboración en la elaboración de esta tesis.

Agradezco sumamente al equipo de trabajo al cual pertenezco, Nair, Cristian, Juan Pablo, docentes de la cátedra de Aves y Pilíferos de la Facultad de Ciencias Veterinarias, UNR, que colaboraron en la toma de datos y diversas actividades desarrolladas durante la investigación. A Sabina por sus fotos.

A Virginia Serenelli, Profesora de la cátedra de inglés, de la Facultad de Ciencias Veterinarias, UNR, por su colaboración en la traducción del resumen.

A mi familia, por su paciencia y apoyo, que permiten que siga día a día por este camino.